

## **Spredt fægtning**

artikelsamling

Jensen, Jens Højgaard

*Publication date:*  
1990

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

*Citation for published version (APA):*  
Jensen, J. H. (1990). *Spredt fægtning: artikelsamling*. Roskilde Universitet. Tekster fra IMFUFA Nr. 200

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact [rucforsk@kb.dk](mailto:rucforsk@kb.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**TEKST NR 199**

**1990**

**SPREDT FÆGTNING**

**ARTIKELSAMLING**

af Jens Højgaard Jensen

**TEKSTER fra**

**IMFUFA**

**ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER**

INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES  
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER



IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postboks 260, 4000 Roskilde.  
SPREDT FÆGTNING - ARTIKELSAMLING  
af: Jens Højgaard Jensen

IMFUFA tekst nr. 199/90 103 sider ISSN 0106-6242  
-----

Abstract:

Artiklerne i denne samling er skrevet, siden samlingen af artikler fra min og Mogens Niss' hånd i IMFUFA tekst nr. 84.

Jeg har kaldt samlingen for "SPREDT FÆGTNING", fordi det umiddelbart er, hvad der er tale om: Artiklerne er skrevet til både forskellige lejligheder og til forskellige målgrupper, og de spreder sig emnemæssigt.

Ved at samle dem er det imidlertid mit håb, at andre end jeg selv kan få øje på den gennemgående bestræbelse i dem. Nemlig at bidrage til at bringe de eksakte fag i dialog med den omverden, de fungerer i. Om deres funktioner i denne omverden.

## INDHOLD.

1.	Om naturvidenskaberne og friheden .....	side	3
2.	Behøver en skriftlig fysikeksamen med centralt stillede opgaver medføre, at den forudgående undervisning kommer til at lide af "Syllabusitis"? ...	-	25
3.	Danske eksamensopgaver, breddemoduleksamen i fysik-overbygningen ved Roskilde Universitetscenter, sommeren 1987 .....	-	33
4a.	Naturkamp, ideologikamp eller samfundskamp? + svar	-	43
4b.	Naturvidenskabskampen. + svar .....	-	45
5.	Matematiske modeller - vejledning eller vildledning? II .....	-	49
6.	Hvordan vurderes gymnasiet som rekrutteringsbasis for de eksakte naturvidenskaber - kvalitativt og kvantitativt? .....	-	61
7a.	Rullende kugle på roterende underlag .....	-	69
7b.	Rullende regnefejl .....	-	75
7c.	Rullende kugle på roterende underlag - sidste runde.....	-	80
8.	Kuhn mellem Skylla og Charybdis .....	-	89
9.	Why Interdisciplinarity?.....	-	99

Den følgende artikel svarer til et foredrag holdt ved gymnasiesprogfagenes samarbejdsudvalgs tværfaglige kursus: "Frihed i de europæiske kulturer", Ry 21. - 24. august 1985. Artiklen er sammen med de øvrige foredrag ved kurset trykt i Tværsproglige hæfter nr. 1, "Frihed i de europæiske kulturer", gymnasiesprogfagenes samarbejdsudvalg. Artiklen har også været trykt i RUC-NYT nr. 10 d. 17. januar 1986.

## OM NATURVIDENSKABERNE OG FRIHEDEN

af Jens Højgaard Jensen, lektor i fysik, RUC.

Jeg har haft fornøjelsen af at deltage i gymnasiesprogfagernes samarbejdsudvalgs tværfaglige kursus: "Frihed i de europæiske kulturer", afholdt i Ry den 21.8 - 24.8 1985.

Med min baggrund som fysiker med ansættelse på RUC kunne man måske tro, at jeg mødte op med en god portion skepsis til et sådant kursus: Skulle f.eks. al åndfuldheden mon ikke vise sig at tjene som politiske og intellektuelle overspringshandlinger? En sådan skepsis havde jeg da også - i nogen udstrækning.

Men som kurset forløb, var det med til at udbygge min respekt for humaniora som andet og mere end opium for nogen. Og jeg synes selv, det var udbytterigt at deltage.

Det var imidlertid ikke af hensyn til mit eget udbytte, men som oplægsholder, jeg var inviteret. Og det oplæg, jeg holdt den 22. om aftenen ("Om naturvidenskaberne og friheden"), er jeg på linie med kursets øvrige oplægsholdere blevet bedt om at give en skriftlig fremstilling af. Det er det, der skal ske her.

Desværre bliver det af flere grunde ikke i form af manuskriptet til et foredrag eller en tilsvarende sammenhængende og ræsonnerende tekst.

En grund er min store ulyst ved at formulere mig skriftligt, fordi det tager mig urimelig lang tid at sætte en nogenlunde flydende tekst sammen (medvirkende årsag til, at jeg uddannede mig i teknisk-naturvidenskabelig retning).

En anden grund, der kan bruges til at gøre en dyd af nødvendigheden, er selve emnet og meningen med, at en som jeg kommer med oplæg om det. Kort fortalt er det min oplevelse, at når dialoger på tværs af kløften mellem den humanistisk-samfundsteoretiske og den teknisk-naturvidenskabelige kultur om emner af fælles interesse som regel løber ud i sandet, skyldes det mangelen på ord og begreber hos den teknisk-naturvidenskabelige kultur (den mangler filosofisk og politisk dannelse) og mangelen på førstehåndserfaringer til at give ordene og begreberne fylde hos den humanistisk-samfundsteoretiske kultur (jvf. f.eks. Niels Bohr's udtalelse: "En filosof er en, der ønsker at forstå alting uden at lære noget"). Og derfor var det snarere et undervisningsforløb med indbyggede oplevelser og erfarings-

dannelse fremfor et stramt og logisk opbygget foredrag til at bringe allerede etablerede erfaringer på plads, der var behovet.

Da jeg ikke turde gå så langt som til at sætte kursusedtagerne på skolebænken, var mit oplæg en mellemting mellem et undervisningsforløb og et foredrag. Det bestod af fremvisning af 10 overheads, som jeg, afbrudt af diskussioner med de øvrige kursusedtagere, kom med forklaringer og bemærkninger til.

Det følgende er en kommenteret gennemgang af de 10 overheads.

Rækkefølgen af de 10 overheads er ikke tvingende. Tilsammen antyder de en form for kortlægning af de efter min mening vigtigste problemstillinger, der hører til emnet "naturvidenskabernes og friheden". Og "kortet" kan læses på mange andre måder end svarende til den valgte rækkefølge.

Jeg har ingen ambitioner om, at teksten i sig selv skal kunne overbevise nogen om vigtigheden af de fremførte synspunkter. Den stærkt komprimerede fremstilling af den, synes jeg, kæmpestore problemkreds, får synspunkterne til at fremstå ret postulerede og kun antydende. Men jeg håber, at antydningerne trods alt er tilstrækkelige til, at en del læsere kan lade sig overbevise om vigtigheden af de rejste problemstillinger. Og jeg håber, at teksten i nogle sammenhænge kan bruges som en slags disposition for en del af snakken ved dialoger mellem de to kulturer.



1. INDLEDNING.

OVERHEAD NR. 1.

OM NATURVIDENSKABERNE OG FRIHEDEN

1. INDLEDNING

- a. Hvad jeg vil snakke om,  
hvad jeg ikke vil snakke  
om og hvorfor.
- b. Præsentation af mig selv.
- c. Målgruppeovervejelser.

2. FYSIK OG LIGNEDE SOM

IDEOLOGISK TVANG.

HER OG NU OG FREMOVER.

NOGLE NØDVENDIGE BETINGELSER  
FOR MODSTAND.

3. FYSIK OG LIGNEDE SOM

SOCIOLOGISK TVANG.

HER OG NU OG FREMOVER.

NOGLE NØDVENDIGE BETINGELSER  
FOR MODSTAND.

-----0-----

Eventuelt:

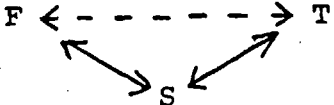
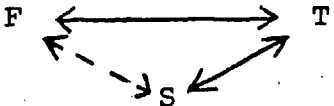
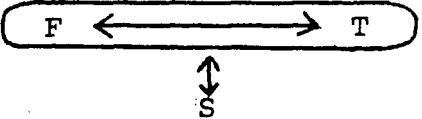
Gymnasiereformdiskussionen i lyset af det  
forudgående.

KOMMENTARER:

1. Overheaden viser dispositionen for mit oplæg. Det sidste eventuelle punkt om gymnasiereformdiskussionen annoncerede jeg som et ekstranummer, vi kunne slutte aftenen af med, hvis der var stemning og tid til det.

2. Jeg fortalte, at størstedelen af mit oplæg ville dreje sig om dispositionens punkt 2. Under dette punkt ville jeg forsøge at formulere mig gennem eksempler, medens punkt 3 ville blive behandlet mere summarisk. Ikke fordi punkt 3 er et mindre vigtigt punkt end punkt 2, snarere tværtimod. Men fordi det er vanskeligt at snakke dybtgående om fysikken som sociologisk tvang uden til en vis grad at have rystet den ideologiske tvang fra fysikken af sig. Og det forudsætter en indsigt i den ideologiske tvang.
3. Den måde, jeg benytter ordene "ideologisk tvang" og "sociologisk tvang" på, kan måske illustreres i forhold til fremmedsprogsfagene. Det er ideologisk tvang, når mennesker efterlades med en snæver sproglig og kulturel horisont, således at de må møde det fremmedartede med angstprægede reaktioner. Og fremmedsprogsundervisning, der sætter ens egen kultur og ens eget sprog i relief, er en måde at modarbejde den ideologiske tvang. Det er sociologisk tvang, når man ikke kan gebærde sig i det fremmede eller få job i det hjemlige på grund af manglende fremmedsprogsfærdigheder eller manglende indsigt i de tilknyttede kulturer.
4. Som indledning fortalte jeg, at jeg ikke ville snakke om biologi, indre frihed og gamle dage. Og overhead nr. 2 blev benyttet til at begrunde især den sidste afgrænsning.
5. Som indledning fortalte jeg også, at jeg var glad for invitationen til at komme med mit oplæg og deltage i kurset. At jeg ikke selv havde valgt min overskrift, men heller ikke havde ønsket den ændret, da den var rummelig nok til at huse mine kæpheste. Og at jeg ville være mødt op med kæphestene ved enhver lejlighed, jeg blev inviteret til, hvor der blev lagt op til brobygning mellem "de to kulturer".

OVERHEAD NR. 2.

PERIODE	UDVIKLEDE DELDISCIPLINER	SAMFUNDSMÆSSIG BETYDNING
"Den videnskabelige revolution" 1500 og 1600 tallet	Mekanik Astronomi	Kulturel/ideologisk 
"Den industrielle revolution" 1700 og 1800 tallet	Termodynamik (varmelære) Elektrodynamik (elektricitets- lære)	Teknisk/materiel 
"Den videnskabeligt-industrielle revolution" 1900 tallet	Atom- og kvantefysik	Kulturel/ideologisk og teknisk /materiel 
GROFT RIDS AF UDVIKLINGEN I FORHOLDET MELLEM FYSIK (F), TEKNIK (T) og SAMFUND (S).		

KOMMENTARER:

- Overheaden er en svagt omformet figur fra min og Søren Kjølrup's bog "Om fysik", Hans Reitzels Forlag, 1983, hvor den fungerer som en del af opsummeringen af bogen. Hovedbudskabet er, at forholdet mellem fysik, teknik og samfund forandrer sig gennem historiens gang.

Under den videnskabelige revolution er forholdet mellem fysik og teknik perifer. Fysikkens sammenhæng med samfundsudviklingen er kulturelt eller ideologisk bestemt. Den deltager i opgøret med de irrationelt begrundede autoriteter ved at give en ny form for sammenhængende, rationel forståelse af fænomener på jorden såvel som i rummet.

Under den industrielle revolution får fysikken derimod en teknisk og materiel sammenhæng med den bredere samfundsudvikling. Fysikken inspireres af og udnyttes i udviklingen af de produktionsteknikker, der får stadig større betydning for samfundsøkonomien. Men fysik og produktion hører stadig til i hver sin verden.

I vort århundrede, under "den videnskabeligt-industrielle revolution", bliver fysikken imidlertid inddraget i en udvikling, hvor på den ene side videnskab og teknologi smelter sammen i de videnskabelige institutioner (videnskaben teknologiseres) og i produktionsvirksomhederne (produktionen videnskabeliggøres), mens på den anden side teknologi og ideologi smelter sammen i den samfundsmæssige tænkning. Fysikkens overbevisende instrumentelle gennemslagskraft har således leveret et grundlag for den tekniske rationalitet og for de autoriteter, der bygger på denne. På mange måder kan den videnskabeligt-teknologiske udviklingstro næsten siges at fungere som vort århundredes religion.

2. Overheaden tjente i sammenhæng med mit oplæg til at pointere, hvor utilstrækkelige figurer som f.eks. Galilei og Watt er til belysning af den tvang, der udøves i forbindelse med naturvidenskaberne i vor tids videnskabeliggjorte samfund.

I forhold til temaet "naturvidenskaberne og friheden" er kampen om den frie tanke under den videnskabelige revolution selvfølgelig ikke noget uvæsentligt emne at tage op. Tilsvarende for frigørelsen fra naturtvangen under den industrielle revolution.

Hvis imidlertid eksemplerne tages som udtryk for vore dages forhold og ikke kun som historisk baggrund for forholdene, kommer de til at virke ideologisk forførende. Og det er, synes jeg, hvad der ofte sker, når naturvidenskaberne kommunikerer ud af huset, f.eks. til humanister. Bl.a. fordi det for f.eks. humanister er mere overkommeligt at beskæftige sig med et emne som Galilei, verdensbillede og menneskesyn end f.eks. faststofelektronik, militær og samfundsstruktur.

Derfor, sagde jeg, handlede mit oplæg ikke om gamle dage, men om her og nu og fremover.

2. FYSIK O.LIGN. SOM IDEOLOGISK TVANG. HER OG NU OG FREMOVER.  
NOGLE NØDVENDIGE BETINGELSER FOR MODSTAND.

OVERHEAD NR. 3.

FREMMEGØRELSE OVER FOR NATURVIDENSKAB OG TEKNIK

A. HVORDAN VIRKER TINGENE ?

Hvordan virker en vandmølle?  
Hvordan virker et A-kraftværk?

FREMMEGØRELSE OVER FOR TEKNISKE INDRETNINGER.

B. HVAD ER DET FOR EN VIDEN, DER LIGGER BAG ?

Hvordan kunne muligheden af en A-bombe forudses?  
Kan risikoen for reaktorulykker forudberegnes?

FREMMEGØRELSE OVER FOR VIDENSKABELIGE PROBLEM-  
STILLINGER.

C. HVORDAN ER JEG PLACERET I SAMMENHÆNGEN ?

HVAD LÅVER DE ANDRE ? HVEM VED HVAD ?

Forstår fysikere sig på A-kraftværker?  
Hvorfor anførtes debatten for og imod A-kraft  
af fysikere?

FREMMEGØRELSE OVER FOR VIDENSKABENS FUNKTION  
I SAMFUNDET.

KOMMENTARER:

1. Den vigtigste nødvendige betingelse for modstand mod den ideologiske tvang i sammenhæng med fysik o.lign. her og nu og fremover er, at fremmedgørelsen over for naturvidenskab og teknik overvindes. Denne fremmedgørelse er også et symptom på den ideologiske tvang.
2. Det er overheadens hovedpointe, at det er fremmedgørelsen over for videnskabens funktion i samfundet, der er det vanskeligste og alvorligste problem. Dernæst kommer fremmedgørelsen over for videnskabelige problemstillinger. Endelig er fremmedgørelsen over for tekniske indretninger et problem, det ikke er så vanskeligt at undervise sig ud af, men også et problem af begrænset betydning. (Manglende fysikindsigt hæmmer ikke vores brug af bilen eller radioen).

Som et udtryk for fremmedgørelsen over for naturvidenskab og teknik er den bredere opmærksomhed omkring frem-



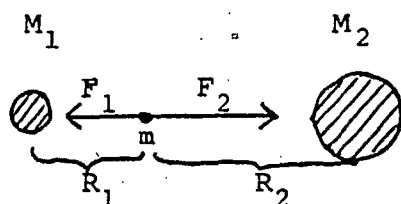
medgørelsens tre niveauer omvendt proportional med niveauernes betydning. Og netop heri ligger udfordringen til uddannelses-systemet.

OVERHEAD NR. 4.

EKSEMPEL PÅ ERKENDELSESTEORETISK DØMMEKRAFT:

Selv om matematiske modeller ser ens ud, kan deres udsagnskraft være af helt forskellig karakter.

ASTRONOMI



PROBLEM: Til hvilken side falder meteoren m ?

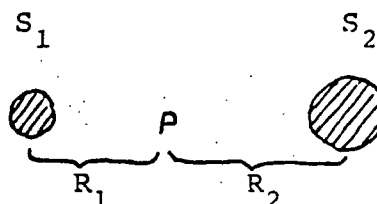
LØSNING:

$$F_1 = G \frac{m \cdot M_1}{R_1^2} \quad F_2 = G \frac{m \cdot M_2}{R_2^2}$$

Hvis  $\frac{M_1}{R_1^2} > \frac{M_2}{R_2^2}$  falder meteoren til venstre.

Hvis  $\frac{M_1}{R_1^2} < \frac{M_2}{R_2^2}$  falder meteoren til højre.

BYGEOGRAFI



PROBLEM: I hvilken by handler personen p ?

LØSNING:

$$\text{Hvis } \frac{S_1}{R_1^2} > \frac{S_2}{R_2^2}$$

handler personen til venstre.

$$\text{Hvis } \frac{S_1}{R_1^2} < \frac{S_2}{R_2^2}$$

handler personen til højre.

KOMMENTARER:

1. Overheaden handler om matematisk modelmagt som eksempel på ideologisk tvang i sammenhæng med fremmedgørelsen over for videnskabelige problemstillinger.

Når fysikere fremkommer med modelberegninger over risikoen for reaktorulykker, benytter de bevidst eller ubevidst den autoritet, som fysikken bl.a. har fået på grund af erfaringer med dens evne til at levere ret sikre og undertiden overraskende forudsigelser. (Skolefysikken oparbejder bl.a. sådanne erfaringer). Men det er misbrug af autoriteten. Risikoberegningerne er nemlig af en anden karakter end magtfulde fysiske modelberegninger typisk er. De mangler et holdbart teoretisk fundament.

På et eller andet plan er der også tale om, at den matematiske form af f.eks. fiskeribiologiske modeller og makroøkonomiske modeller får dem til uberettiget at låne autoritet fra det forhold, at ingeniørernes brokonstruktioner normalt er forudberegnet rigtigt. Lighederne i de matematiske former skygger for forskellene i de faglige udgangspunkter.

2. EDB-teknologien har muliggjort, at matematiske modeller anvendes i stærkt stigende omfang i samfundet. Og de har bredt sig langt omkring fra deres udgangspunkt i fysikken og ingeniørfagene. Den matematiske modelmagt udgør et alvorligt politisk problem i kraft af de EDB-tekniske muligheder. Og et af almenuddannelsesbehovene i informationssamfundet er dømmekraft over for brugen af matematiske modeller.

Blind skepsis eller tilsvarende tiltro rækker ikke. Det er nødvendigt med kendskab til matematik og forskellige anvendelsessammenhænge og fagområder og i mindre grad kendskab til EDB. Der er behov for en konkret forankret erkendelsesteoretisk dømmekraft.

3. Overheaden viser et eksempel (pædagogisk forenklet) på vildledende dyrkelse af overfladiske, udvendige og formelle ligheder mellem to fænomener, der gør en ens matematisk beskrivelse mulig.

Problemet om meteoren med massen  $m$  falder mod kloden med massen  $M_1$  i afstanden  $R_1$  eller mod kloden  $M_2$  i afstanden  $R_2$  lader sig løse ved anvendelse af Newton's gravitationslov: tiltrækningskraften ( $F$ ) fra en klode på meteoren er lig med en naturkonstant ( $G$ ) gange klodens masse ( $M$ ) gange meteorens masse ( $m$ ) divideret med



kvadratet på afstanden mellem meteoren og kloden. Meteoren falder mod den klode, der trækker mest i den.

Problemet om, hvor personen i afstanden  $R_1$  fra byen med størrelsen  $S_1$  og i afstanden  $R_2$  fra byen med størrelsen  $S_2$  handler, behandles undertiden i bygeografi som antydnet. Og det sker under navnet "gravitationsmodel".

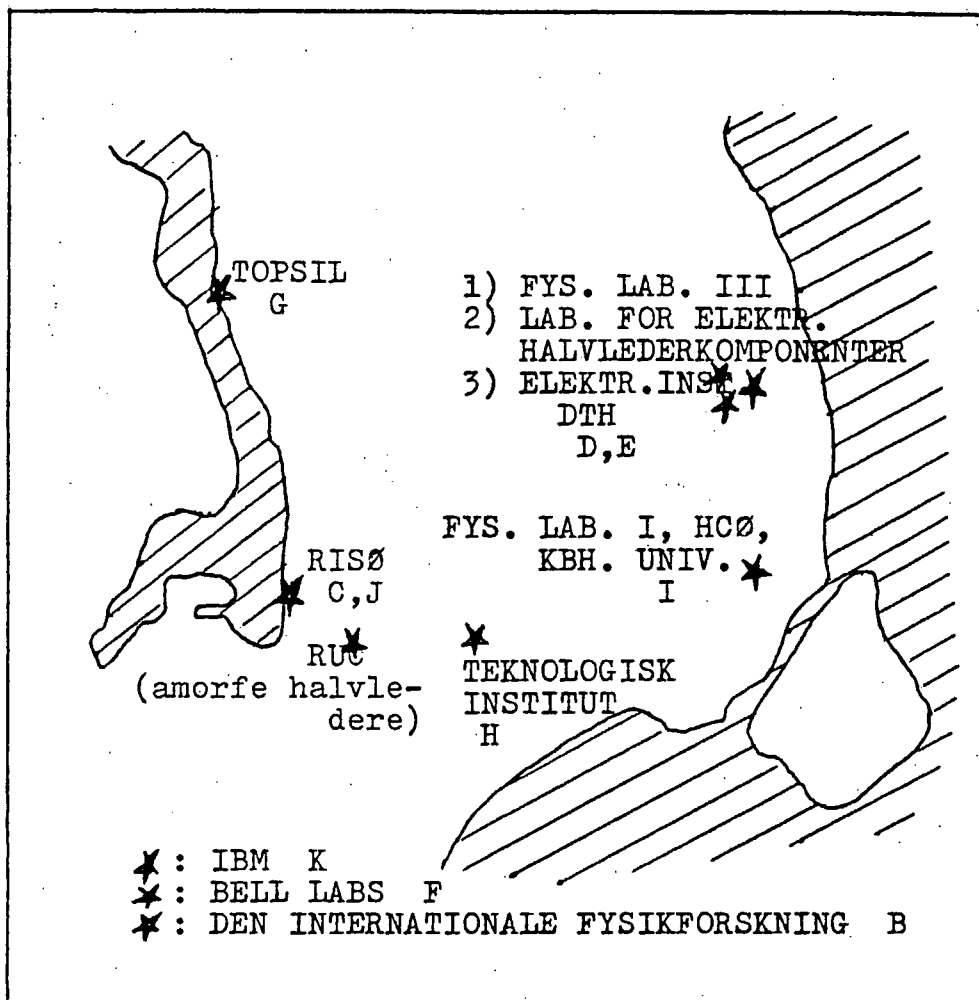
Det vildledende ligger ikke i på kortfattet form at sammenfatte nogle bygeografiske data i en matematisk formel. Det kan både være praktisk og overbliksgivende. Det vildledende opstår, hvis nogen tror, at de to modeller har samme karakter. Det har de ikke.

Den bygeografiske model hviler ikke på nogen teori. Det er en ad-hoc model lavet for til lejligheden at udtrykke sig i kompakt matematisk sprog. Derimod er den astronomiske model en teoretisk model sammenvævet med den newtonske mekanik. Hvor man i bygeografien løbende tilpasser formlerne til data (f.eks. ved at ændre  $R^2$  til  $R^{1.7}$  el.lign.), sker det ikke i astronomieksemplet (f.eks. ligger det uden for spillets regler at ændre det mindste på eksponenten til  $R$ , da totallet i  $R^2$  hænger sammen med noget så fundamentalt, som at rummet har tre dimensioner).

En teoretisk model kan udover empirisk kontrol (sammenligning med data) også gøres til genstand for teoretisk kontrol (sammenligning med teori). En ad-hoc model kan kun kontrolleres empirisk. Skal modelmagerne kigges over skuldrene, er man derfor i tilfældet ad-hoc model afhængig af adgang til databanken, medens man i tilfældet teoretisk model kan nå et stykke vej via teoretisk indsigt.

Overheaden antyder et i gymnasiet overkommeligt indhold af et undervisningsforløb til udvikling af erkendelsesteoretisk dømmekraft hos eleverne og modvirkning af deres fremmedgørelse over for videnskabelige problemstillinger, for så vidt angår matematiske modeller. (Jævnfør overhead nr. 3, niveau B).

OVERHEAD NR. 5.

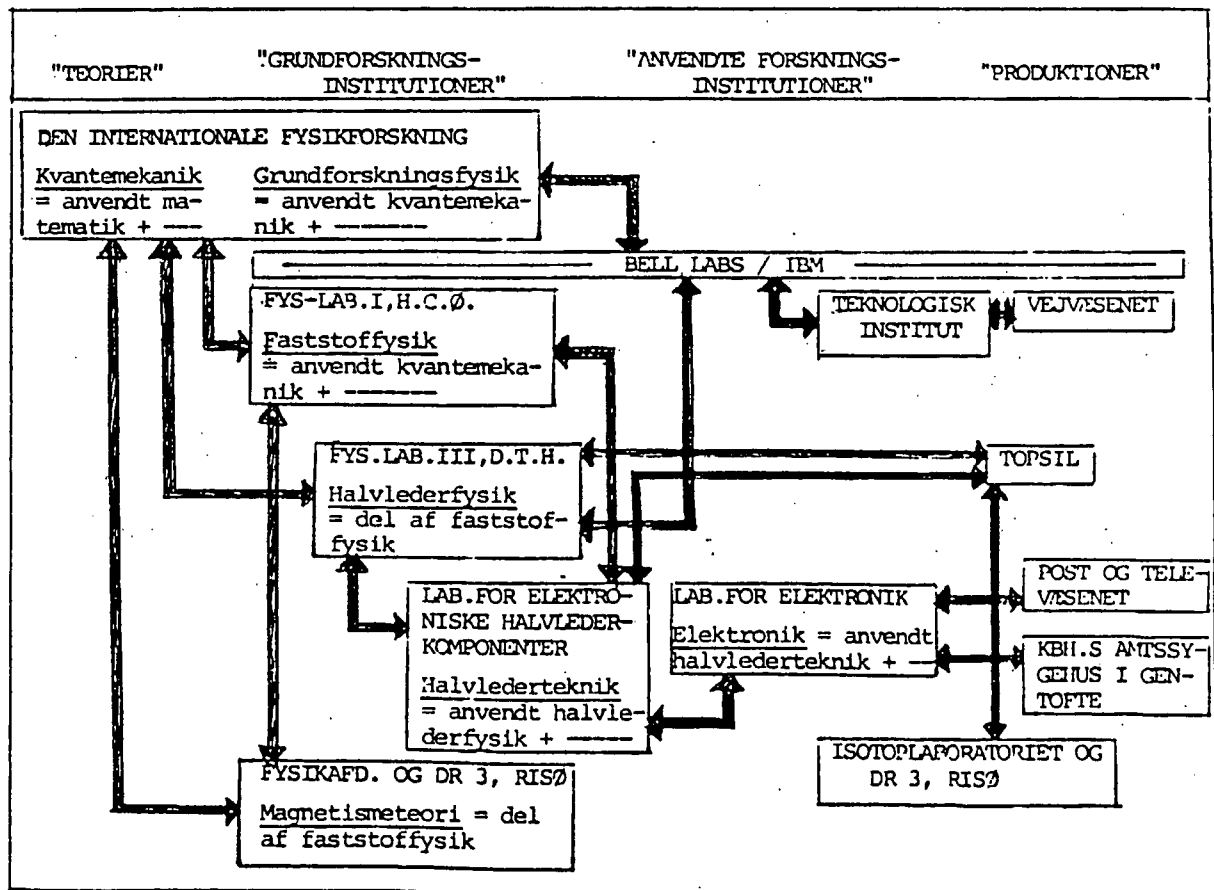


KOMMENTARER:

1. Overheaden er en del af et undervisningsforløb, som har været afprøvet i forskellige sammenhænge på RUC. Overskriften for undervisningsforløbet har været: "Forholdet mellem naturvidenskab og teknologi belyst ved eksemplet halvlederfysik og halvlederteknologi i Københavnsområdet". På kortet er angivet nogle institutioner i Københavnsområdet og tre anknætningspunkter til den store verden. Bogstaverne (B,C,D,E,F,G,H,I,J og K) henviser til en materialesamling (udpluk af årsberetning fra D.t.H., Risø Nyt, indholdsfortegnelse til Physics Abstracts, reklame for Bell laboratories i Physics Today o.lign.), som deltagerne i de forskellige undervisningsforløb er blevet bedt om at studere for at svare på spørgsmålene:

- hvilke af de anførte institutioner kan karakteriseres som grundforskningsinstitutioner, hvilke som anvendte forskningsinstitutioner og hvilke som produktionsvirksomheder?
  - hvordan hænger de anførte institutioner sammen?
2. På kurset i Ry uddelte jeg materialesamlingen, så deltagerne havde haft lejlighed til at bladere i den, før jeg viste og kommenterede overhead nr. 5. Et undervisningsforløb, hvor den blev studeret og de ovenstående spørgsmål besvaret, var der dog ikke mulighed for.

OVERHEAD NR. 6.



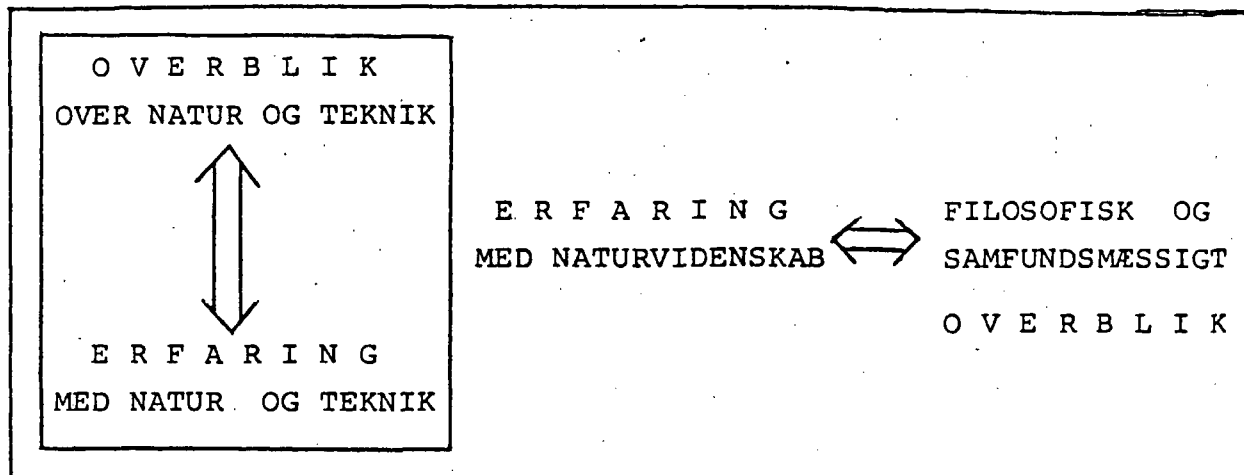
KOMMENTARER:

1. Overheaden er en form for svar på de to spørgsmål i tilknytning til overhead nr. 5. Den karakteriserer institutionerne, markeret på overhead nr. 5 samt nogle enkelte flere, der også er omtalt i materialesamlingen. Og den viser nogle af de forbindelseslinier, der fremgår ved læsning af materialesamlingen. Iøvrigt må figuren stort set tale for sig selv. Det vil føre for vidt at kommentere den nøjere her. Blot skal konklusionen på undervisningsforløbet, den rammer ind sammen med overhead nr. 5, anføres: I vore dage er naturvidenskab og teknologi tæt sammenvævede størrelser makrosociologisk set (jævnfør overhead nr. 2). Mikrosociologisk opleves det imidlertid ikke umiddelbart sådan, fordi sammenvævningen sker gennem så uoverskueligt et netværk, som tilfældet er. Og hertil kommer, at en relativ adskillelse af grundforskningen fra teknologien anses for nødvendig for dens fortsatte relevans for teknologien på grund af de to størrelses erkendelsesteoretisk set forskellige karakter. Et af de vanskeligste management-problemer i det videnskabeliggjorte samfund er administrationen af vekselspillet mellem videnskab og teknologi som to forskellige, men integrerede størrelser. Der er behov for en form for konkret forankret sociologisk dømmekraft. Og der er behov for en undervisning, der sikrer, at denne dømmekraft ikke forbeholdes ledelserne af de multinationale firmaer, visse statslige organer o.lign.
2. Meningen med at vise de to overheads 5 og 6 og uddele materialesamlingen i Ry var at antyde en form for sociologisk dømmekraft, det er nødvendigt at udvikle for at komme fremmedgørelsen over for videnskabens funktion i samfundet til livs. (jævnfør overhead nr. 3, niveau C).
3. Fremmedgørelsen over for videnskabens funktion i samfundet giver sig ikke kun til kende på et forskningsorganisatorisk og forskningspolitisk niveau. F.eks. oplever gymnasieeleverne mystifikationen over for forholdet mellem naturvidenskab og teknik både i deres opfattelse af fagene fysik og matematik: "Fysik er noget, der leverer os fjernsyn, køleskabe og atombomber. Men fysik er også en uvirkelig fantasiverden af matematiske formler for f.eks. gnidnings-



løse trisser og masseløse snore, der ofte blot bruges til at forklare ting, man vidste i forvejen." "Matematik kan ikke bruges til noget. Men man kan ikke bruges til noget uden matematik."

OVERHEAD NR. 7.



KOMMENTARER:

1. Overheaden signalerer en morale, der kan drages af den foranstående del af mit oplæg: Skal den ideologiske tvang fra fysik o.lign. imødegås, og fremmedgørelsen over for naturvidenskab og teknik som anført på overhead nr. 3 modvirkes, er det nødvendigt med et samarbejde som skitseret mellem den teknisk/naturvidenskabelige kultur og den humanistisk/samfundsteoretiske.

I betragtning af, at vi alle mere eller mindre er ofre for kulturkløften som et udtryk for den fremmedgørelse, der netop skal bekæmpes, er det antydede projekt ikke uden videre nemt at involvere sig i. Men hvor findes vigtige projekter, der er nemme?

3. FYSIK O.LIGN. SOM SOCIOLOGISK TVANG. HER OG NU OG FREMOVER.  
NOGLE NØDVENDIGE BETINGELSER FOR MODSTAND.

OVERHEAD NR. 8.

SOCIOLOGISK TVANG I DET VIDENSKABELIGGJORTE SAMFUND ?		
INDUSTRISAMFUNDET	INFORMATIONSSAMFUNDET ?	
KAMPEN GÆLDER	MATERIELLE GODER	KULTURELLE RÅDERUM
KAMPEN ER	ØKONOMISK	ORGANISATORISK
UDBYTTERNE ER	KAPITALISTER	FORVALTERE
UDBYTTERNE	KAPITAL	INFORMATION
AKKUMULERER		
UDBYTTERNES	EJENDOMSRET TIL	FORTRINSRET TIL
MAGTBASIS ER	PRODUKTIONSMID-	OVERBLIK
	LERNE	
DE UDBYTTEDE ER	ARBEJDERE	FUNKTIONÆRER
DE UDBYTTEDE	MERVÆRDI	MERINFORMATION
AFTVINGES		

KOMMENTARER:

1. At de naturvidenskabelige fag er afgørende brikker i forskellige uddannelsespolitiske spil om afvikling og etablering af sociologiske tvangssituationer forekommer oplagt. F.eks. kan man tænke på Reagan-administrationens uddannelsespolitiske udspil "A Nation at Risk", hvor hovedanbefalingen er, at alle high-school eleverne tvinges til at indtage et bestemt ernæringsrigtigt sammensat hovedmåltid - "the five new basics" - i stedet for som nu, hvor de kun spiser forretter og desserter. The five new basics er fire store kurser i 1) Mathematics, 2) Science, 3) Social studies, 4) English og et mindre kursus i 5) Computer science. F.eks. kan man tænke på det danske Knud Larsen-udvalgs udpegning af mat.-fys.-grenen i gymnasiet som flaskehalsen ved drejning af de videregående uddannelsesstrømme fra arbejdsløshedsfag til beskæftigelsesfag.





2. Den sociologiske tvang fra fysik o.lign. eksisterer også på et mere overgribende plan end det uddannelsespolitiske. "Det militær-industrielle kompleks", som Eisenhower advarede imod, burde således retteligt kaldes "det videnskabelig-militær-industrielle kompleks." Og hvis overheadens antydning af, i hvilken retning samfundsbeskrivelsen må bevæge sig ved overgang fra industrisamfund til informationssamfund, har noget på sig, bliver nogle former for videnskabers sociologiske funktioner helt overgribende.
3. Min gennemgang af den sociologiske tvang i sammenhæng med fysik o.lign. var i Ry som her og som omtalt i indledningen meget summarisk.

----- 0 -----

Som sammenfattende udgangsreplik på oplægget i sin helhed refererede jeg til et dobbeltinterview i Information med Preben Wilhjelm og Villy Sørensen for snart en del år tilbage. En af replikkerne var, citeret efter hukommelsen:

"Marxister, der ikke er kulturradikale, er noget af det farligste, der findes. Kulturradikale, der ikke er marxister, er noget af det mest ufarlige, der findes." (I modsætning til, hvad man måske skulle tro, er det ikke en af Villy Sørensen's replikker). I fri oversættelse til sammenhængen her lyder den: "Teknisk/naturvidenskabeligt skolede uden humanistisk dannelse er noget af det farligste, der findes. Humanister uden indsigt i teknisk/naturvidenskabelige forhold er -----.

----- 0 -----

Under diskussionen efter oplægget blev især problemstillingen om matematiske modeller, deres misbrug og brug (jævnfør overhead nr. 4.), drøftet.

----- 0 -----

GYMNASIEREFORMDISKUSSIONEN I LYSET AF DET FORUDGÅENDE.

OVERHEAD NR. 9.

D U P S		HUM. Linieek- sempel I	SAM. Linieek- sempel II	NAT. Linieek- sempel III
Dansk Historie Religion	Humanistiske fag.	25	25	25
Engelsk Tysk/fransk	Fremmed- sprog.	20	20	20
Idræt		7	7	7
Biologi Fysik Kemi Matematik	Naturvidenskab og matematik.	18	18	31
Geografi Samfunds- fag	Samfunds- videnskab.	11	24	11
Musik Film Formning	Kreative fag	8	6	6
3.fremmed- sprog		11	0	0
		100%	100%	100%

KOMMENTARER:

1. Der var tid og stemning til det eventuelle ekstranummer om gymnasiereformdiskussionen i lyset af det forudgående.
2. Uanset at nogle humanister føler sig ideologisk klemt, er realiteten, at det danske gymnasium nærmest lader sig karakterisere som en humanistisk dannelsesanstalt påhængt et forberedelseskursus til D.t.H. Det fungerer fjernt fra behovene i informationssamfundet og er dårligt nok trådt ind i industrisamfundet, sagde jeg for at provokere.

3. Gymnasiereformdiskussionen bevæger sig i kraft af, at den først og fremmest føres mellem gymnasielærere inden for en tilsvarende horisont. I forhold til problemstillingerne i oplægget her er der ikke de store forskelle mellem de mange strukturforslag, vi præsenteres for.
4. Overheaden viser et eksempel på et strukturforslag, der efter min mening tydeligt demonstrerer den almindelige tendens til at tænke gymnasiet humanistisk-samfundsfagligt med det teknisk-naturvidenskabelige som residualelementer. Forslaget er præsenteret i Gymnasieskolen nr. 9, 1985 og udarbejdet på baggrund af diskussioner i en arbejdsgruppe under Dansk Uddannelsespolitisk Selskab. Arbejdsgruppen, som jeg selv deltog i, var blødt venstreorienteret og præget af nogle gennemslagskraftige samfundsfagslærere. Jeg var enig i argumentationen i artiklen i Gymnasieskolen for et "liniegymnasium", men uenig i det konkrete forslag. Forslaget har, så vidt jeg ved, ikke spillet nogen større rolle i reformdebatten. Men det demonstrerer som sagt, efter min mening, meget godt, hvordan gymnasietænkningen er domineret af den humanistisk-samfundsvidenskabelige kulturs horisont.

OVERHEAD NR. 10.

D U P S <sup>-1</sup>		BIO. Linieek- sempel I	TEK. Linieek- sempel II	FYS. Linieek- sempel III
Astronomi)	Naturfag	20	0	10
Biologi				
Geografi )				
Matematik)	Matematiske fag	10	15	23
Datalogi/				
statistik)				
Idræt		10	0	0
Dansk	Humanviden- skab og sprog	32	27	27
Historie				
Religion				
Samfundsfag				
Engelsk				
Tysk/fransk				
Musik/film/ formning )				
Kemi	Eksakte fag	8	15	25
Fysik				
EDB	Kreative fag	10	16	15
Elektronik				
Finmekanik )				
Valgfag + liniefag		10	27	0
		100%	100%	100%

KOMMENTARER:

1. På overhead nr. 10 har jeg lavet et strukturforslag, der er DUPS-forslaget vendt på hovedet. Tallene angiver procentdele af samlet undervisningstid fra 1. til 3.g., som de gør det på overhead nr. 9.



2. Jeg går ud fra, at DUPS<sup>-1</sup>-forslaget virker barokt. Det er ensidigt teknisk-naturvidenskabeligt i den måde, det spænder verden ud på, og det reducerer humaniora/samfundsvidenskab til en relativt homogen størrelse, som man også skal have noget uspecificeret af.

Min pointe er selvfølgelig, at når DUPS-forslaget ikke virker så barokt som DUPS<sup>-1</sup>-forslaget, så skyldes det ikke, at DUPS-forslaget er mindre ensidigt i sin omverdensorientering, men at det er tro mod traditionen for, hvilken slags ensidighed gymnasiet skal præges af.

3. Linieeksempel II i DUPS<sup>-1</sup>-skitsen er identisk med HTX-uddannelsen.

----- 0 -----

I informationssamfundet/det videnskabeliggjorte samfund er der brug for et gymnasium, der hverken er ensidigt teknisk-naturvidenskabeligt eller ensidigt humanistisk-samfundsvidenskabeligt. Og der er brug for et gymnasium, hvis lærere ikke er delt i to kulturer.



PAS PÅ DE  
FALSK  
BROBYGGERE!

BROEN OVER  
KULTUR KLØFTEN

JHU/90



Den følgende artikel har været trykt i LMFK-bladet, nr. 4, april 1985. LMFK-bladet er et meddelelsesblad for de danske gymnasielærere i matematik, fysik og kemi.

BEHØVER EN SKRIFTLIG FYSIKEKSAMEN MED CENTRALT STILLEDE OPGAVER MEDFØRE AT DEN FORUDGÅENDE UNDERVISNING KOMMER TIL AT LIDÉ AF "SYLLABUSITIS" ?

*Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter*

I Knud Larsen-udvalgets "Handlingsplan for bedre balance på de langvarigt uddannedes arbejdsmarked", Undervisningsministeriet, januar 1985, opereres der med tre grupper af længerevarende uddannelser: "problemgruppen", "mellemgruppen" og en gruppe uddannelser, som betegnes som "flaskehalse". Denne sidste gruppe består af teknikum-, akademi- og civilingeniøruddannelserne samt de naturvidenskabelige kandidatuddannelser i datalogi, statistik, matematik, fysik og kemi. Altså netop de uddannelser, der formelt eller reelt forudsætter den matematisk-fysiske gren i gymnasiet.

Gymnasiefagene matematik og fysik har således været bragt i focus i udvalgets overvejelser. Og under overskriften "Vejledning og information i gymnasiet" står der (s. 43 og 44):

"Det skal tilføjes, at udvalget er opmærksom på, at elevernes studievalg og -fravalg i høj grad er påvirket af den enkelte lærers personlighed og af fagets indhold og pædagogiske fremlæggelse. Selv om den formelle vejledning er af væsentlig betydning, vil denne dog næppe - selv i en bedret form - kunne opveje den omfattende påvirkning, der sker i den øvrige undervisning.

Udvalget skal specielt pege på det erkendte problem, at undervisningen i matematik og fysik kun tiltrækker et fåtal af pigerne. Dette anses for en stærkt medvirkende faktor til, at de fleste piger fravælger uddannelser med disse fag som væsentlige ingredienser, og dermed afskriver sig gode beskæftigelsesmuligheder.

Selv om det ligger udenfor udvalgets kommissorium at rådgive på dette område, skal det henstilles, at undervisningen på

disse to områder søges tilrettelagt, således at pigerne - og en større del af drengene - får større udbytte heraf."

Bedømt ud fra Knud Larsen-udvalgets sammensætning og modtagelsen af dets rapport, tror jeg rapporten kan betragtes som et godt vidnesbyrd om nogle herskende politiske vinde omkring de videregående uddannelser (og forhold, der hænger sammen hermed). Derfor (og fordi jeg er enig i det citerede) refererer jeg her til den som optakt til nogle betragtninger over gymnasiets fysikundervisning.

Hvordan står det da til med gymnasiets fysikundervisning ?

Hvad med forslaget til nyt pensum i fysik fra Fysiklærerforeningens styrelse ? Vil det føre til, at "pigerne - og en større del af drengene - får større udbytte" ud af fysikundervisningen ? Sådan at rekrutteringen til "flaskehalsuddannelserne" alt andet lige øges ?

Næppe. Der er tale om et forslag til nyt pensum og ikke et forslag til ændret undervisning. Og det er af underordnet betydning om der undervises i f.eks. bølgelære eller digital-elektronik for såvel Knud Larsen-udvalgets, som andre (f.eks. sociale og kulturelle) uddannelsespolitiske problemstillinger.

Det afgørende er, hvordan og med hvilke hensigter, der undervises i f.eks. bølgelære eller digitalelektronik.

For Knud Larsen-udvalgets problemstilling tror jeg således, at måden matematik inddrages i fysikundervisningen på er af central betydning. Vælges emnerne f.eks. ud fra deres velegnethed som øvelsesbaner for træning i at anvende matematik på problemer uden for matematiken selv ? Eller vælges de af andre grunde, og således at nødvendige matematiske forudsætninger forventes tilvejebragt i matematiktimerne ? Skal fysik pædagogisk set betragtes som hjælpefag for matematik eller matematik som hjælpefag for fysik ?



Min bedømmelse er, at fysik i gymnasiet langt hen ad vejen overordnet set fungerer som hjælpefag for matematik, at det er fagets vigtigste eksistensberettigelse. Og at det forholder sig sådan samtidig med, at fysikundervisningen overvejende tilrettelægges med fysikkens emner som mål og matematikken som middel. Altså at fysikundervisningens dagligdag kun ubevidst retter sig mod dens betydning. Og det er skidt.

Når først og fremmest fysik (og ikke matematik eller kemi) opleves som utilgængeligt af pigerne - og en stor del af drengene -, hænger det formentlig netop sammen med dets karakter af anvendt matematik. Samtidigt er det imidlertid formentlig også netop færdigheder i at anvende matematik på problemer udenfor matematikken selv, der er den vigtigste barriere til flaskehalsuddannelserne. Derfor løses det uddannelsesmæssige problem, som pigers forhold til fysik er et udtryk for, ikke ved at afskaffe "hård" fysik til fordel for til den ene side "blød" fysik eller kemi, til den anden side ren matematik. Det er nødvendigt, at undervisningen i "hård" fysik gribes an på en anden måde end hidtil. Og derfor er det skidt, at Fysiklærerforeningens styrelse sidder fast i den "syllabusitiske" spændetrøje, der pr. konstruktion fastholder den eksisterende undervisningstradition. (Sygdommen "syllabusitis" er f.eks. nærmere beskrevet i John L. Lewis: Teaching school physics, chap. 18, A Unesco source book, 1972.)

Syllabusitis er i øvrigt ikke kun en dårligdom for gymnasiefysikken, fordi den blokerer for, at der kan arbejdes ordentligt med matematiske modeller og matematifisering.

I artiklen "Den ulykkelige trang til kun at køre ad lærebogens skinner", Uddannelse nr. 9, nov. 1976, karakteriserer englænderen, fysikeren og uddannelsesforskeren Brian Davies, University of London, dansk fysikundervisning bl.a. sådan:

"Uddannelsen af de studerende ved universitetet til gymnasielærere stiller næsten fanatiske krav om, at alt skal handle om fagstof. Undervisningen synes at tage langt mindre hensyn

til de elever, der skal undervises ude i skolerne, end til det stof, der skal undervises i.

Denne understregning af en emnecentreret, stiv angrebsform på fysikken, fører til en temmelig uinspireret og uoriginal gymnasieundervisning."

Syllabusitis, er i det hele taget en dårligdom, der hænger sammen med en tradition for at undervise emner og ikke mennesker i et centralistisk undervisningssystem. Og bedst ville det være, hvis den centralistiske styring afvikledes sammen med de dertil hørende centralt fastlagte emnelister og centralt stillede opgaver, og den decentrale lærer fik øget spillerum og ansvar over for eleverne og samfundet.

Her og nu lyder det imidlertid ikke realistisk for så vidt angår gymnasiet. Og slet ikke i fysik.

Men måske kunne behovet for centralstyring imødekommes alene ved centralt stillede opgaver og uden en central emneliste med dens forvridende virkninger i retning af fagfetichering og pædagogisk nærsynethed ?

Et bortfald af centrale emnelister ville fremtvinge den diskussion af fysikundervisningens funktioner og formål, som Fysiklærerforeningens styrelse også har lagt op til i sit debatoplæg, men som ikke vil blive udfoldet så længe alle ved, at emnelisten og ikke formålsovervejelser er det reelt styrende. Og centralt stillede skriftlige opgaver sikrer i højere grad end centrale emnelister, at studentereksaminerne fra de forskellige gymnasier bliver ensartede. De udgør også et kraftigt værn mod det pres fysik - som gymnasiets øvrige fag - bliver og vil blive udsat for i sammenhæng med nedskæringer og gymnasiestrukturreform.

Endelig - og vigtigst - tror jeg, at centralt stillede fysikopgaver uden veldefineret pensum (både for elever, fysiklærere, andre gymnasielærere og uddannelsessystemet med dets planlæg-

gere og beslutningstagere i det hele taget) vil bringe Knud Larsen-udvalgets problemstilling i focus i en klar belysning. (I modsætning til slørende snak som f.eks. den, at en kemi-linie i sig selv skulle være en løsning.)

I informationssamfundet vil hverken indsigter i bølgelære eller digitalelektronik i sig selv være særligt afgørende for andet end et fåtal. Heller ikke EDB på andet end kørekorts-niveau vil formentlig være et problem for de mange.

Derimod vil de mange både som almindannelse og almen studie- og erhvervsforberedelse have behov for at forstå:

- 1) hvad teoretisk viden er for noget (til forskel fra praktisk/empirisk viden).
- 2) hvordan de indgår i samspillet mellem naturvidenskab, teknologi og samfund.

Og de vil have behov for erfaringer og træning i :

- 3) - at løse åbne problemer ved at oversætte og afgrænse dem til tilsvarende lukkede og formaliserede problemer.  
- at bedømme værdien af løsningen i forhold til det åbne problem, der var udgangspunktet.

Fysik ville som fag være et oplagt redskab til at tilgodese disse behov, hvis det blev helbredt for syllabusitis.

Men kan man stille fælles skriftlige opgaver uden et fælles fastlagt pensum? Således at det er punkt 3) og ikke pensum-tilegnelse, der afprøves?

Ja, hvorfor ikke? "Dansk stil" er en skriftlig prøve uden dertilhørende pensum. "Problemregning" ved folkeskolens afgangsprøver går vist også i denne retning.





I den sidste halve snes år har den skriftlige eksamen i det såkaldte "breddemodul" i RUC's fysiklæreruddannelse fungeret på denne måde (jvf. "Opgavesamling", breddekursus i fysik, IMFUFA-tekst nr.3, som kan fås ved henvendelse til IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260, 4000 Roskilde).

Hovedproblemet har her været, at opgaveformen for studenterne nemt bliver meget krævende. Det er en stadig kamp, at forsvare det "høje ~~problemløsningsniveau~~ problem løsningsniveau" mod at blive undermineret af krav om "højt pensumniveau".

I en overgangssituation ville det også blive hovedproblemet i gymnasiet. Og problemet ville blive tilspidset, hvis man af demokratiske og økonomiske hensyn udvidede kravet om skriftlig fysik til at gælde flere elever end de nuværende mat.-fys.'er. Hvad jeg synes man skulle.

Som et led i at besvare spørgsmålet i artiklens overskrift benægtende, vil Albert Paulsen, IMFUFA, RUC, og jeg gerne i kontakt med interesserede gymnasielærere, for at vi sammen med dem inden for det næste års tid kan udarbejde en ikke-pensumorienteret fysikopgavesamling til gymnasieniveauet.

PAS PÅ DE  
FALSK  
BROBYGGERE!

BROEN OVER  
KULTURKLOFTEN

JHU/90



Den følgende gennemgang af og kommentarer til opgavesættene fra den skriftlige eksamen i breddemodulet sommeren 1987 på fysikoverbygningen på RUC har været trykt i Fysisk Tidsskrift 86, 1988, no. 1.

## Danske Eksamensopgaver

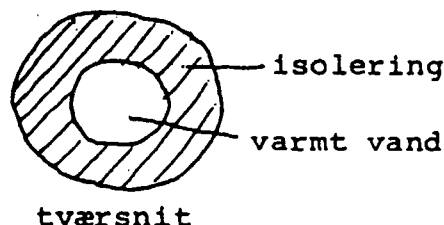
### *Breddemoduleksamen i fysikoverbygningen ved Roskilde Universitetscenter, sommeren 1987.*

1. skriftlige prøve i breddemodulet i fysik (1. modul), afholdes onsdag, den 10. juni 1987 kl. 10.00-14.00.

Hjælpemidler ikke tilladt. 6 af nedenstående 8 problemer ønskes behandlet. Det skal fremgå af besvarelsen, hvilke 2 af problemerne der bortvælges.

1. I hvilken stilling knækker snoren i en gyng, hvis den knækker?  
Hvad sker? Begrund svarene.

2. Hvordan afhænger varmetabet i fjernvarmeledninger af isoleringen?



Begrund svaret.

3. Ved kæden af radioaktive henfald fra  ${}_{92}^{238}\text{U}$  til  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$  udsendes  $\alpha$ -stråling og  $\beta$ -stråling. Består  $\beta$ -strålingen af elektroner eller positroner?

Begrund svaret.

4. Spektrallinierne, der udsendes af lysende brint, kan beskrives ved formelen:

$$\nu_{n,m} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Af hvilke grundlæggende fysiske størrelser afhænger konstanten  $R$ , og hvordan afhænger den af dem?

Begrund svarene.

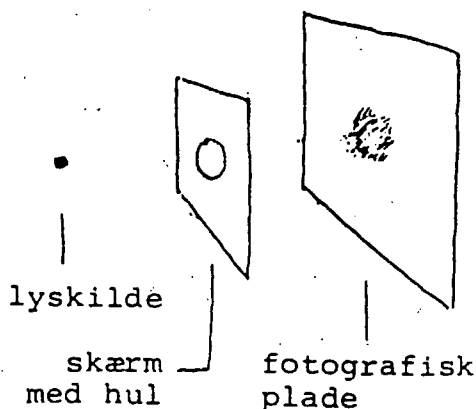
5. Hvis man slukker for et elektrisk apparat ved at hive stikket ud af stikkontakten, kan der opstå en gnist. Det sker ikke, hvis man tænder ved at sætte stikket i.

Forklar hvorfor.

6. Såkaldte gravimetre til tyngdefeltsmålinger måler så nøjagtigt, at de registrerer forskellen mellem at være anbragt på et bord og på gulvet ved siden af.

Hvor nøjagtigt er det?

7.



Ved hvilken hulstørrelse bliver sværtningspletten mindst i den skitserede opstilling?

Begrund svaret.

8. I blæsevejr hvirvles blade og papir på gaden typisk op af vinden i stedet for at blive trykket mod jorden.

Forklar hvorfor.

(opgavesættet slut)

2. skriftlige prøve i breddemodulet i fysik (1. modul), afholdes fredag, den 12. juni 1987 kl. 10.00-14.00.

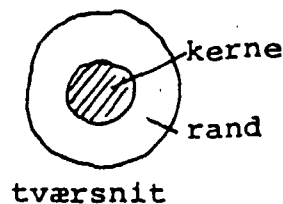
Hjælpe midler ikke tilladt. 6 af nedenstående 8 problemer ønskes behandlet. Det skal fremgå af besvarelsen, hvilke 2 af problemerne der bortvælges.

1. Hvem glider nemmest på en skråning, et barn eller en voksen? Begrund svaret.
2. Erfaringsmæssigt varierer viskositeten af væsker typisk som  $\exp(T_0/T)$  med temperaturen  $T$  ( $T_0$  er en konstant). Virker det rimeligt set ud fra et mikroperspektiv? Begrund svaret.
3. I forbindelse med den senest iagttagne supernovaeksplosion er der konstanteret en kraftig neutrino fluks her på Jorden. Den begivenhed i eksplosionens forløb, der forårsagede neutrino udsendelsen, er også set optisk. Ifølge observations materialet kan der højst være tale om, at neutrinoernes ankomst til Jorden var forsinket 1 time i forhold til lysets. Afstanden til supernovaen er 170000 lysår. Hvad er den øvre grænse, der kan udledes heraf for størrelsesordenen af neutrinoers hvilemasse?
4. En øldåse er 16 cm høj. Den kan rumme 320 g øl og vejer selv 40 g. Hvad er den laveste placering af tyngdepunktet for dåse og øl tilsammen ved varierende ølindhold?

5. Optiske glasfibre til signaltransmission er opbygget af en glas-kerne og en glasrand med forskellige brydningsindeks:

Lyssignalerne transmitteres gennem kernen. Er kernens brydningsindeks større eller mindre end randens?

Begrund svaret.



6. For at beskytte dørhængslerne er det god tømmereskik at anbringe dørstopperen i totrediedele dørbreddes afstand fra dørøphængen. Hvorfor netop i denne afstand?

7. Stefan-Boltzmanns lov, at energitætheden i hulrumsstråling er lig med en universel konstant gange den absolutte temperatur i fjerde potens, kan udledes ud fra elektrodynamikken og termodynamikken. Størrelsen af den universelle konstant lader sig imidlertid kun forklare ud fra mere grundlæggende naturkonstanter inden for rammerne af kvantemekanikken, hvilket antyder en sammenhæng mellem kvantemekanik og termodynamik.

Hvordan er sammenhængen mellem konstanten i Stefan-Boltzmanns lov og mere grundlæggende naturkonstanter?

Begrund svaret.

8. I et elopvarmet hus er risikoen for at sprænge sikringer størst i den situation, hvor alle elradiatorerne er kolde og tændes samtidigt.

Hvorfor?

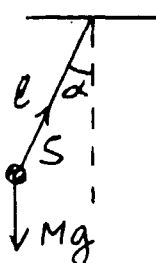
(opgavesættet slut).

## »LØSNINGER«

»Løsninger« er sat i gåseøjne, fordi der ifølge opgavernes karakter ikke altid findes bestemte, entydige og autoriserede svar på dem. Samtidig forventes der mere uddybende forklaringer, end der her af pladshensyn er medtaget. »Løsningerne« er kortfattede fremstillinger af, hvad jeg essentielt havde i tankerne, da jeg stillede opgaverne. Mine tanker er ikke nødvendigvis rigtige.

### Første sæt

1.



Snoren knækker i den stilling, hvor snor-spændingen,  $S$ , er størst.

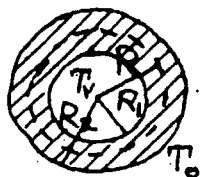
$$\text{Af: } S - Mg \cos \alpha = M \frac{v^2}{l} \text{ og}$$

$$Mgl(1 - \cos \alpha) + \frac{1}{2}Mv^2 = Mgl(1 - \cos \alpha_{\max})$$

Danske Eksamensopgaver

fås  $S = Mg(3\cos\alpha - 2\cos\alpha_{\max})$ .  $S$  er størst for  $\alpha = 0$ , hvorfor snoren knækker i bundstillingen, hvis den knækker. Personen på gyngen vil derfor blive slynget i en kasteparabel med vandret starthastighed, hvis snoren knækker.

2.



Varmestrømtætheden er givet ved:

$j = -\kappa \frac{dT}{dR}$ , hvor  $\kappa$  er varmeledningsevnen af isoleringsmaterialet. I en stationær situation er varmetabet pr. længdeenhed,  $K$ , uafhængigt af  $R$  givet ved  $K = 2\pi R \cdot j(R)$ , hvoraf

$-2\pi\kappa dT = K \cdot \frac{dR}{R}$ , som ved integrationen giver:

$$K = \frac{2\pi\kappa(T_1 - T_0)}{\ln(R_2/R_1)}$$

Det er således forholdet  $R_2/R_1$  og ikke tykkelsen af isoleringen, der sammen med  $\kappa$  bestemmer varmetabet.

3. Der finder  $(238-206)/4 = 8$   $\alpha$ -henfald sted. Det sænker kerneladningen med 16, dvs. 6 udover det registrerede. Der må derfor yderligere foregå en omdannelse af 6 neutroner til 6 protoner under udsendelse af 6 elektroner.  $\beta$ -strålingen består således af elektroner.

4.  $R$  kan udledes af Bohrs semiklassiske model, hvor de indgående naturkonstanter er  $m_e$ ,  $e$ ,  $h$  og  $\epsilon_0$ . Hvordan  $R$  afhænger af naturkonstanterne, kan findes ved dimensionsanalyse.

Da  $[R] = T^{-1}$ ,  $[m_e] = M$ ,  $[e] = Q$ ,  $[h] = ML^2T^{-1}$  og  $[\epsilon_0] = Q^2M^{-1}L^{-3}T^2$  nødvendiggør ansatsen  $R = \text{dimensionsløst tal} \cdot m_e^\alpha \cdot e^\beta \cdot h^\gamma \cdot \epsilon_0^\delta$ :

$$-1 = -\gamma + 2\delta; \quad 0 = \alpha + \gamma - \delta; \quad 0 = \beta + 2\delta \quad \text{og} \quad 0 = 2\gamma - 3\delta,$$

hvoraf

$$\alpha = 1, \beta = 4, \gamma = -3 \text{ og } \delta = -2, \text{ dvs. } R \propto \frac{m_e \cdot e^4}{h^3 \cdot \epsilon_0^2}$$



5. Når stikket hives ud, kan selvinduktionen i apparatet medføre store spændingsforskelle henover det opståede gnistgab på grund af den hurtige ændring af strømstyrken. Samtidig starter gabet med at være smalt. Når stikket sættes i, er der ikke tale om ændring af strømstyrken, så længe der er et gab.

$$6. g(r) = G \cdot \frac{M}{r^2}; dg = -2G \frac{M}{r^3} \cdot dr; \frac{dg}{g} = -2 \frac{dr}{r}$$

Da  $\frac{dr}{r} \approx \frac{1 \text{ m}}{6000 \text{ km}} \approx 2 \cdot 10^{-7}$  måler gravimetre åbenbart med en relativ nøjagtighed, der er mindre end eller lig med  $4 \cdot 10^{-7}$ .

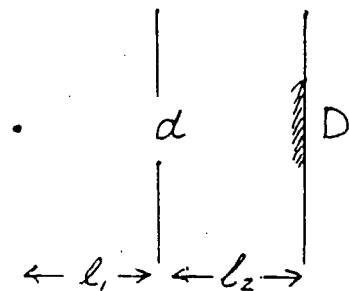
7.

For  $d$  stor vil sværtningspletten være givet geometrisk ved

$$D = \frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1} d.$$

For  $d$  lille vil den være givet ved diffraktionsudtværingen

$$D \approx \frac{\lambda}{d} \ell_2.$$



Den mindste sværtningsplet opnås for  $\frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1} d \approx \frac{\lambda}{d} \ell_2$ , dvs.

$$d \approx \sqrt{\frac{\lambda \cdot \ell_1 \cdot \ell_2}{\ell_1 + \ell_2}}.$$

Med størrelsesordenerne  $\ell_1 \approx \ell_2 \approx 1 \text{ m}$  og  $\lambda \approx 10^{-6} \text{ m}$  fås

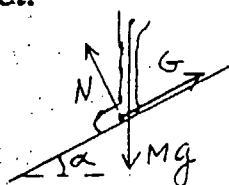
$$D_{\min} \approx 1 \text{ mm for } d \approx 1 \text{ mm}.$$

8. Bladet eller papiret på gaden har stillestående luft på undersiden og bevæget luft på oversiden, hvis det blæser. Ifølge Bernoullis ligning medfører dette et relativt undertryk på oversiden.

Danske Eksamensopgaver

Andet sæt:

1.



Ved stilstand:  $N = Mg \cos \alpha$ ;

$G = Mg \sin \alpha$ , dvs.  $\tan \alpha = G/N$ . Da  $G_{\max} = \mu N$ , hvor  $\mu$  er den statiske gnidningskoefficient, er betingelsen for stilstand  $\tan \alpha \leq \mu$ . Da betingelsen er uafhængig af  $M$ , har den voksne og

barnet som en første tilnærmelse lige svært ved at stå fast på skråningen.

2. Væsker består af molekyler (eller atomer), der som i faste stoffer svinger om nogle ligevægtspositioner mellem nabomolekylerne. Når væsken i modsætning til faste stoffer kan flyde, skyldes det, at der i det molekulære arrangement er plads nok til, at rearrangering af molekylerne ind imellem kan finde sted ved tilstrækkelig store energifluktuationer. Den simpleste antagelse om hyppigheden af disse fluktuationer er, at den på en eller anden måde er fastlagt ved en karakteristisk aktiveringsenergi,  $A$ , og en dertil hørende Boltzmann-faktor ( $\exp(-A/(k_B T))$ ). Derfor virker temperaturafhængigheden  $\exp(-T_0/T)$  for letflydenheden og omvendt  $\exp(T_0/T)$  for viskositeten rimelig.

3. Hvis neutrinoerne har en hvilemasse, gælder  $m_0 c^2 = E \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}$ , hvor  $v$  er neutrinoernes hastighed. Ifølge observationerne gælder:

$$\frac{v}{c} = \frac{t_{\text{lys}}}{t_{\text{neutrino}}} > \frac{170000 \text{ år}}{170000 \text{ år} + 1 \text{ time}} \approx 1 - \frac{1 \text{ time}}{170000 \text{ år}}, \text{ hvoraf}$$

$$\sqrt{1 - v^2/c^2} = \sqrt{(1 + v/c)(1 - v/c)} < \sqrt{2 \cdot 1 \text{ time}/170000 \text{ år}} \approx 3 \cdot 10^{-5}$$

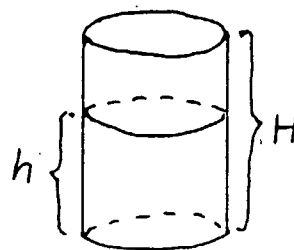
$$\text{Sættes } E \lesssim 1 \text{ MeV fås } m_0 c^2 < 1 \text{ MeV} \cdot 10^{-4} = 100 \text{ eV}$$

4. Tyngdepunktets placering over bunden er givet ved:

$$x = \frac{h/H \cdot 320 \cdot h/2 + 40 \cdot H/2}{40 + h/H \cdot 320} = \frac{H}{2} \frac{1 + 8a^2}{1 + 8a}; a = \frac{h}{H}$$

$$\frac{dx}{da} = 0 \text{ for } 8a^2 + 2a - 1 = 0 \text{ eller } a = \frac{1}{4},$$

der indsat giver  $x_{\min} = 4 \text{ cm}$ .

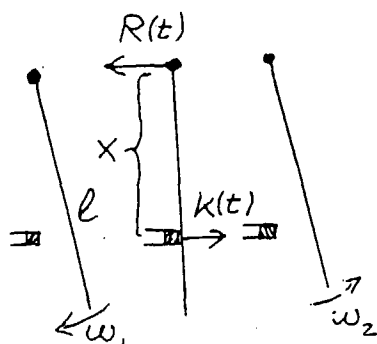


5. Der tilstræbes totalrefleksion af lyset i kernen ved grænselaget. I overensstemmelse med brydningsloven  $n_k \sin \alpha_k = n_r \sin \alpha_r$  opnås det for indfaldsvinkler  $\alpha_k$  større end den givet ved

$$\sin \alpha_k = \frac{n_r}{n_k}, \text{ hvis } n_k > n_r.$$

Kernens brydningsindeks skal derfor være større end randens.

6.



Impulsændring ved stød:

$$Ml/2 \cdot (\omega_1 + \omega_2) = \int_0^{\Delta t} (K(t) - R(t)) dt$$

Impulsmomentændring ved stød:

$$1/3 \cdot Ml^2(\omega_1 + \omega_2) = x \cdot \int_0^{\Delta t} K(t) dt$$

Heraf ses:  $\int_0^{\Delta t} R(t) dt = 0 \iff x = 2/3 l.$

7. Af dimensionsgrunde må  $k_B$  nødvendigvis indgå i konstanten i fjerde potens. Den resterende faktor har så dimensionen: energi/(længde<sup>3</sup> · energi<sup>4</sup>). Af vedkommende naturkonstanter til etablering af denne dimension kan kun  $h$  og  $c$  komme på tale. Netop faktoren  $(hc)^{-3}$  giver overensstemmelse. Konstanten i Stefan-Boltzmanns lov har derfor udseendet: dimensionsløst tal  $\cdot k_B^4 \cdot (hc)^{-3}$ .

8. Når elradiatorerne er kolde, er deres elektriske modstand mindre, end når de er varme, og strømmen igennem dem derfor større, end når de er varme, da netspændingen er konstant.

#### Kommentarer:

Kandidatuddannelserne på RUC består af en to-årig basisuddannelse, et eventuelt praktikmodul af et halvt års varighed og to ligestillede overbygningsfag, hvert bestående af tre moduler, normeret til et halvt års fuldtidsstudiearbejde.

Fysikoverbygningsfaget, der altså er normeret til halvandet år, består af et breddemodul, et dybdemodul og et specialemodul.



Breddemodulet består halvt af projektarbejde, der afsluttes med en mundtlig eksamen med udgangspunkt i en udarbejdet projektrapport, halvt af kursusarbejde, der afsluttes med to skriftlige eksamener svarende til opgavesættene her.

Arbejdstiden, der formelt er til rådighed som forberedelse til breddemodulets to skriftlige eksamener, er altså et halvt semester, dvs. svarende til noget i retning af omfanget af fysik 1 ved Københavns og Århus universiteter. Samtidig er den stofmængde, der skal tilegnes, for øjeblikket defineret ved Alonso-Finn, Physics I, II, III samt supplerende bøger i astrofysik. Misforholdet lader sig kun opløse, hvis det forudsættes, at de studerende på den ene eller anden måde via den naturvidenskabelige basisuddannelse og sideløbende beskæftigelse med de andre dele af fysikuddannelsen har et forholdsvis forhold til store dele af pensum, således at formålet med kursusarbejdet i breddemodulet for den enkelte studerende kun bliver at bringe i forvejen tilegnede delforståelser i forhold til hinanden og »udfyldning af huller«.

I overensstemmelse hermed er de to skriftlige eksamener i breddemodulet ikke tilrettelagt på den traditionelle måde, der tjener til at afprøve de studerendes evne til at reproducere og anvende et umiddelbart forud for eksamen gennemgået pensum. (Sådan tilrettelægges den skriftlige eksamen i dybdemodulet). Det har været afgørende at finde frem til en opgaveform, der fremfor afprøvning af matematisk/tekniske manipulationsfærdigheder og detailviden netop afprøvede de studerendes overblik over fysikken i sin helhed, deres forståelse af de centrale begrebsdannelser og deres evner til at anvende dem, således at eksamen kommer til at fungere som en »modenhedsprøve«, hvortil en pedantisk eksamensrepetition af det uoverkommeligt store pensum kun har begrænset værdi.

Samtidig med, at der altså er særlige strukturelle årsager til opgaveformen, er den også valgt ud fra mere almene pædagogiske overvejelser. Opgaverne er udarbejdet med tanke på den tilbagevirkning på den forudgående undervisning og indlæring, eksamensopgaver uvægerligt har.

Ved udarbejdelsen af opgaverne er der forsøgt taget følgende 7 hensyn:

- 1) Rimelig behandling af de antydede problemer, skal forudsætte fysisk forståelse.
- 2) Opgaverne skal vedrøre centrale begrebsdannelser og forståelsesmåder i fysikken.

- 3) Opgaverne skal tilsammen udspænde pensum.
- 4) Løsning af opgaverne skal kunne ske ved simple regninger.
- 5) Problemstillingerne skal kunne formuleres i dagligdags sprog, således at den nøjere præcisering af problemerne i fysiske termer bliver et centralt punkt ved opgaveløsningen.
- 6) Opgaverne skal have en rimelig sværhedsgrad.
- 7) Opgaverne skal vedrøre virkelige, ikke tænkte, problemstillinger.

At opgaverne skal vedrøre virkelige, ikke tænkte, problemstillinger skyldes dels et motiveringshensyn i forhold til de studerende, dels at det ønskes illustreret, at fysikkens karakter af teoretisk, forklarende videnskab netop gør den brugbar til at overskue dele af virkeligheden med, og at fysikken ikke er det skolastiske, selvbestemmende system, som den på grund af sit stærkt teoretiske præg ofte forveksles med. At de i opgaverne rejste problemstillinger skal kunne formuleres i dagligdags sprog skyldes en opfattelse af, at det væsentligste udbytte af fysikundervisning først opnås gennem opøvelse af evnen til aktiv anvendelse af tillærte begreber og forståelsesmåder på ikke i forvejen velkendte eller tilrettelagte problemer. For at tilgodese dette hensyn er en stor del af problemstillingerne nogle, der allerede behandles i gymnasiet.

Det kan måske for nogle forekomme overraskende, at den slags »lette« problemmer skal være udgangspunkter for universitetsundervisning. Det er imidlertid en erfaring, at der er megen forskel på udbyttet af og vanskelighederne ved arbejdet med et problem, når det leveres i en blot antydnet form uden tilknytning til et bestemt sted i pensum, og når det leveres i parametriseret og præciseret form i sammenhæng med gennemgang af netop det relevante pensum.

Den første eksamen i fysikbreddemodulet på RUC blev afholdt sommeren 1976. I sammenhæng hermed forelå en opgavesamling med 68 opgaver. Samlingen er nu vokset til 292 opgaver ved at inkludere eksamensopgaverne fra årene, der er gået. Den foreligger som IMFUFA Tekst nr. 3 og kan købes for trykkeudgifterne ved henvendelse til sekretariatet, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260, 4000 Roskilde.

*Jens Højgaard Jensen*

Det følgende er to læserbreve til "Naturkampen" og to svar herpå.

Det første læserbrev og svaret herpå stod trykt i "Naturkampen" nr. 35, marts 1985.

Det andet læserbrev blev aldrig trykt. Som svar fik jeg derimod det brev, som er gengivet her, og som skuffede mig.

Naturkampen kaldte sig tidligere for "Socialistisk tidsskrift for naturvidenskab, teknik og medicin". Det stod der indtil september 1988 med stort på forsiden og på side 2. Og indtil juni 1989 stod det med småt på bagsiden.





### NATURKAMP, IDEOLOGIKAMP ELLER SAMFUNDSKAMP?

"De venstreorienterede videnskabsblade, der opstod verden over i halvfjerdsene (herhjemme "Naturkampen"), har sat fokus på usikkerhed og politik omkring videnskab, når den blev brugt i samfundsmæssige sammenhænge. Men det er også således, at der kun har været svage tendenser til at opsøge denne uenighed, politisering og usikkerhed inden for grundforskningens eget felt."

Sådan skriver Tor Nørretranders i det sidste nummer af Naturkampen (nr. 34). Og han mener, at forholdet simpelthen skyldes, at "disse blade stort set ikke har interesseret sig for grundforskning." Og da han tror, at "et af dette årtis vigtigste videnskabspolitiske slagsmål vil handle mere om grundforskningen end om den anvendte forskning", må den manglende interesse beklages.

TN signalerer således nogle overvejelser og diskussioner i Naturkampens redaktionsgruppe, som jeg synes, man må byde velkommen. For bladets dækning af problemer i grundforskningen og grundfagene har hidtil været svag.

Forventningen om fornyelse svinder imidlertid, når man læser, at "dette årtis vigtigste videnskabspolitiske slagsmål" ifølge TN drejer sig om "grundstrukturerne i den videnskabelige erkendelse, slagsmålet mellem reduktionisme og formentkning/helhedstænkning". Den sang er jo sunget før i Naturkampen.

For ti år siden skelnede man i den danske studenterbevægelse mellem ekstern fagkritik og intern fagkritik. Ved nærmere eftersyn handlede de to slags fagkritik ikke blot om to slags kritik, men også om to slags fag. I den eksterne fagkritik anvendtes de anvendte fag til aktionsforskning. I den interne fagkritik blev der foretaget et ideologisk opgør med grundfagene. Oluf Danielsen har engang rammende karakteriseret de to slags fagkritik og deres indbyrdes modsigelsesfuldhed med henholdsvis overskriften **kamppositivisme** og overskriften **kamp mod positivismen**.

Er det ikke på en eller anden måde det samme skema, TN bevæger sig i? Og er det ikke det skema, der har præget den redaktionelle linie for Naturkampen hele tiden, som det barn af studenterbevægelsen Naturkampen er?

Derimod ville det være noget nyt, hvis Naturkampen kunne hjælpe til med at bringe kritikken af grundfagene fra blot at være ideologikritik til også at være kritik af de samfundsinstitutioner, de er. Hvor er Naturkampens redegørelse for den borgerlige regeringsprioritering og kraftige kursændring af forskningspolitikken netop i forhold til grundforskningen?

Hvor er Naturkampens redegørelse for kvalifikationsstrukturerne og uddannelsespolitikken forbundet med "de snilde teknologier"?

Som TN tror jeg, at et af dette årtis vigtigste videnskabspolitiske slagsmål vil handle mere om grundforskning end om den anvendte forskning. Men jeg synes ikke, det er særlig materialistisk at tillægge ideologikamp om reduktionisme m.m. så

afgørende en betydning, uden at den indgår i samfundskamp om grundforsknings- institutionerne.

Dette årtis vigtigste videnskabspolitiske slagsmål kommer efter min vurdering til at dreje sig om anvendelsesorienteringen af grundforskningen. Så vidt jeg kan følge med, deler jeg denne vurdering med f.eks. ledelserne i de multinationale firmaer og finansministeriets budgetdepartement.

Hvad med Naturkampen? Strandet på fagkritikkens skær? "Naturkampen: socialistisk tidsskrift for teknik og medicin; idealistisk tidsskrift for naturvidenskab". Er det sådan?

Jens Højgaard Jensen

### Svar

Man kan dårligt klandre Jens Højgaard Jensen, at han har misforstået min pointe om grundforsknings vigtighed i artiklen i Naturkampen nr. 34. Trods alt var der tale om en temmelig vidtgående pointe, der blev afleveret en passant i en artikel, der handlede om så meget andet.

Men en misforståelse er der tale om. Jeg mener ikke, at vi skal diskutere grundforskning alene som et spørgsmål, der angår for/imod reduktionisme, formtænkning, helhedstænkning etc. Jeg mener heller ikke, at vi blot og bart skal diskutere grundforskning i forhold til anvendelsen af den eller i forhold til dens rolle som institution i samfundet.

For mig at se er det afgørende, at vi diskuterer grundforskning som grundforskning. Det vil sige, at vi tager de løbende debatter og skolefejder, der foregår indenfor grundforskningen alvorligt. At vi erkender,, at grundforskningens langsigtede paradigme-valg er afgørende for udformningen af den teknologi, der en dag bliver politiske emner. At vi indser, at f.eks. fremkomsten af et informationsparadigme indenfor biokemien allerede implicerer en bestemt tilgang til den levende natur, længe før den materialiserer sig i teknologier som gensplejsning.

Derfor er det ikke et spørgsmål om at diskutere grundforskningens rolle i forhold til alt muligt andet, men at gå lige direkte ind i den glødende grundforsknings aktiviteter, uden om lærebøger og forskningsbudgetter for at se, hvad der foregår dér. Så vil vi opdage, at der står stridigheder mellem reduktionisme og anden tænkning - om vi så kan lide det eller ej.

Derfor er det ikke nok, som Jens Højgaard Jensen foreslår, at se på forskningspolitik og kvalifikationsstruktur. Vi må også interessere os for forskning og kvalifikationsindhold.

Det betyder ikke, at vi skal glemme forskningspolitik, uddannelsesstruktur, arbejdsmiljø og bivirkninger. Slet ikke. Men

det betyder, at hvis hele vores debat om forskningen kun handler om forskningens forhold til samfundet, så forstår vi hverken forskningen eller samfundet.

Og så er vi lige vidt.

Tor Nørretranders

#### NATURVIDENSKABSKAMPEN.

Mit ærinde med læserbrevet "Naturkamp, ideologikamp eller samfundskamp" i det sidste nummer af Naturkampen (nr. 35) var at opfordre bladet til at gå ind i naturvidenskabskampen. Det er også ærinde med denne opfølgning.

Jeg erklærede mig derfor enig med Tor Nørretranders i at beklage, at Naturkampen "stort set ikke har innteresseret sig for grundforskningen". (Undtagelsen er Jesper Hoffmeyers artikler om biologi.)

Samtidigt kritiserede jeg ham for at opfatte naturvidenskabskampen som ren ideologikamp. (For/imod reduktionisme osv.) Sådan har jeg nemlig oplevet Naturkampens hidtidige linie, og sådan forstod jeg de bemærkninger i hans artikel i nr. 34, som var udgangspunktet for mit læserbrev.

Og jeg er kritisk over for ren ideologikamp, fordi jeg i et mere og mere videnskabeliggjort samfund som det nuværende danske anser naturvidenskabsfagene (inclusive skolefagene) for at være så integrerede bestanddele af samfundets materielle grundlag, at naturvidenskabskampen hænger sammen med hele samfundskampen. Naturvidenskabskampen afgøres derfor lige så lidt på de ideologiske slagmarker som man på borgerlig vis kan reducere f.eks. kvindekampen til et opgør med forkerte holdninger.

De af Bertel Haarder styrede udnævnelser af ti forskningsprofessorer for et års tid siden er et eksempel på naturvidenskabskamp. Og Naturkampen ville ved at gå ind i en undersøgelse af de pågældende forskningsemner og forskningspraksis'er kunne hjælpe os læsere med et signalement af den borgerlige regerings interesser i kampen.

Et andet eksempel på naturvidenskabskamp er antydnet i den såkaldte handlingsplan fra Bertel Haarder's Knud Larsen-udvalg. Her sker der - i overensstemmelse med kampagner i USA de sidste par år - det, at matematik og fysik i gymnasiet gøres til et hovedproblem ved omstillingen af de videregående uddannelser "fra arbejdsløshedsfag til beskæftigelsesfag". Og Naturkampen ville hjælpe os læsere ved at holde os underrettede om sådanne udviklinger. Også indholdsmæssigt. Hvorfor er det f.ek.s. først og fremmest matematikundervisning og kun i mindre grad EDB-undervisning kampen gælder?

Jeg håber, at jeg med disse to eksempler også har fået antydnet, at jeg er enig med Tor Nørretranders, når han i sit svar på mit læserbrev skriver, at det ikke er nok at interessere sig for

grundforskningens (og grundfagenes) forhold til samfundet. Vi må også interessere os for grundforskningens (og grundfagenes) indhold. Ellers "forstår vi hverken forskningen eller samfundet".

I mit svar på læserbrevet skriver Tor Nørretranders også, at han i modsætning til min udlægning ikke mener, at interessen i grundforskning først og fremmest skal dreje sig om for/imod reduktionisme osv. Vi er således tilsyneladende ufrugtbart enige i det meste.

Måske skulle jeg for at tilgodese mit ærinde have stilet mit læserbrev til den øvrige redaktionsgruppe ? Hvad synes den om Naturkampens placering i naturvidenskabskampen ?

Jens Højgaard Jensen  
IMFUFA, RUC  
4000 Roskilde

#### Svar

Århus 12 JUN 85.

Kære Jens,

Tak for dit læserbidrag til Naturkampen. Vi har valgt ikke at bringe indlægget, fordi vi efter diskussion på redaktionsmødet, helt klart mente at det var skævt i forhold til hvad vi ønsker af debat specielt af det område du omtaler. Gennem flere år har vi netop ønsket at drage disse emner frem. Særlig Inge Henningsen og Jesper Hoffmeyer har fremhævet det, idet de på snart sagt hvert eneste møde har kunnet berette om urimeligheder og besværligheder på forskningsområdet, ud fra deres medvirken i konsistoriearbejdet.

Vi har simpelthen haft emnet som dårlig samvittighed. Det er ene af tidsmæssige grunde at vi ikke selv har taget det op. At det så reelt ikke er blevet prioriteret frem for andre emner er nok så meget et spørgsmål om tilfældigheder. I virkeligheden var det bedste der kunne ske om du og/eller andre startede debatten på vores banehalvdel! Det være du hermed inviteret til.

Mange hilsener fra



Hans Pedersen  
redaktionssekretær.

**naturkampen**

Socialistisk tidsskrift for  
naturvidenskab, teknik og medicin  
c/o Politisk Revy  
Vesterbrogade 31 - 1020 Kbh. V  
Tlf. (01) 22 71 11 - Giro 5 66 30 57



Den følgende artikel svarer til et foredrag holdt mange gange på gymnasier, RUC m.m. Som det fremgår er der tale om en pædagogisk tilspidset fremstilling af hovedpointerne i en artikel med samme overskrift i Naturkampen nr. 18, december 1980. Artiklen her blev oprindeligt skrevet til Naturkampen som opfølgning af den første. Naturkampen fandt den imidlertid for stor og tung. Den har så været trykt i GAMMA 72 (1988) og i IMFUFA-tekst nr. 164.





## VII. MATEMATISKE MODELLER: VEJLEDNING ELLER VILDLEDNING?

### VII. MATEMATISKE MODELLER - VEJLEDNING ELLER VILDLEDNING? II.

Videnskabeliggørelsen af samfundet og de EDB-tekniske muligheder har ført og vil i fremtiden i endnu højere grad føre til en stigende brug af matematiske modeller. I professionelle kredse vil opmærksomheden på modelkonstruktørernes metodiske og erkendelsesteoretiske problemer derfor også være stigende. Fordi filosofiske grundlagsproblemer undertiden vil fremtræde som praktiske kommunikationsproblemer i modelværkstederne.

Fremstillingen her drejer sig imidlertid ikke om modelkonstruktørernes professionelle problemer ved modeludviklingen. Den drejer sig heller ikke om det traditionelle videnskabsteoretiske problem om forskellige teories erkendelsesmæssige status eller måderne arbejde med matematiske modeller kan indgå i teoriudvikling på. Den tager bl.a. sit udgangspunkt i den konstatering, at visse matematisk formulerede teorier, som f.eks. Newtons mekanik, eksisterer og praktisk anskuet fungerer i visse situationer. Og så drejer den sig om vores allesammens mere eller mindre udtalte problemer med, som forbrugere af og ofre for de færdige matematiske modeller, at bedømme deres troværdighed. Vejleder eller vildleder de professionelle os?

Artiklen tilbyder naturligvis ikke noget ja/nej svar på dette spørgsmål. Desværre tilbyder den heller ikke noget katalog over hvilken slags modeller, der er til at stole på, og hvilke ikke. Men den tilbyder en grovskelnen mellem ad-hoc og teoribaserede matematiske modeller, som er afgørende for, ikke om modellerne er troværdige eller ej, men for hvilken slags muligheder der er for at kontrollere deres troværdighed. Teoribaserede modeller lader sig kontrollere både empirisk og teoretisk, ad-hoc modeller kun empirisk.

Artiklen er bygget skematisk op for lettere at kunne anvendes i undervisningsforløb, bl.a. i gymnasiet. Den består af 6 sætninger og 3 konklusioner, efterfulgt af begrundelser for dem.

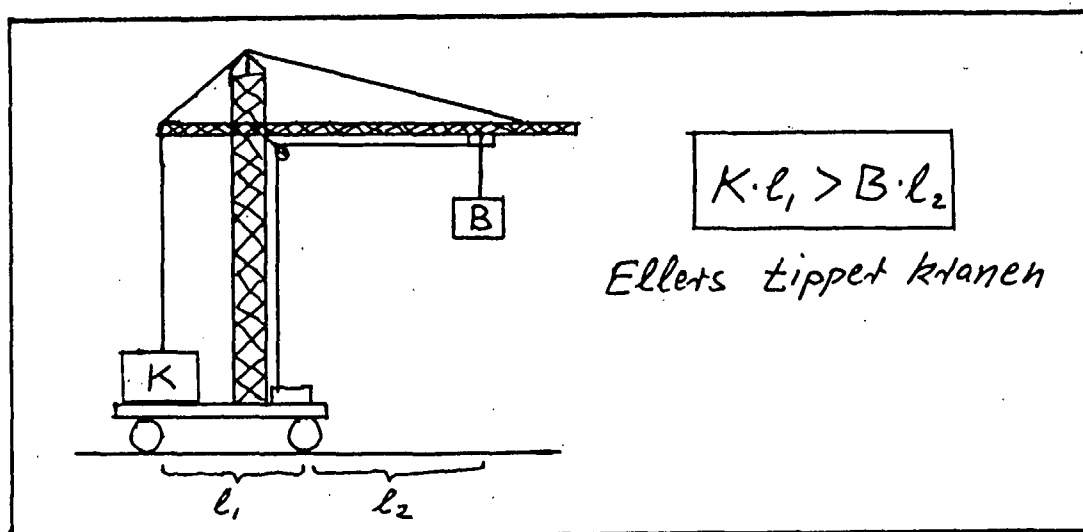
SÆTNING 1. *Matematiske modeller kan ikke afvises.*

Hvis nogen skulle have den forestilling, at matematiske modeller er uanvendelige, virkelighedsfjerne abstraktioner eller sort tale og bluff, bør de kaste et blik på tegningen af byggekranen. Den er der for at minde dem om noget, de godt ved. Nemlig, at der er en hel del ting, der kan regnes ud ved hjælp af matematik. Og at det undertiden kan være til stor praktisk nytte.

Hvis krankonstruktionen kun vejer meget lidt i forhold til belastningen  $B$  og kontravægten  $K$ , er betingelsen for, at kranen ikke tipper om forhjulene, at  $K \times l_1$  er større end  $B \times l_2$ . Det følger af vægtstangsreglerne i den klassiske mekanik.

Sikkerhedsforskriften for, hvor stort udhænget må være for en given kran med en given belastning, er ikke noget, man har eksperimenteret sig frem til ved at vælte kraner. Det er noget, man har regnet sig frem til ved hjælp af en matematisk





model. Og både bygherren og bygningsarbejderen er interesserede i og drager nytte af den samme udregning.

Man kan altså ikke afvise matematiske modeller.

**SÆTNING 2.** *Matematiske modeller er ikke til at stole på.*

Hvis nogen skulle have den forestilling, at matematiske modeller udgør sikre holdepunkter i en ellers svært håndterlig tilværelse, bør de erindre sig deres egne skoleerfaringer. Var det ikke sådan i matematiktimerne, at hvis matematik overhovedet blev anvendt på noget uden for sig selv, da var der tale om, at en ydre virkelighed blev inddraget til belysning af matematikken, ikke at matematikken blev inddraget af hensyn til forståelsen af en ydre virkelighed?

Og var det ikke sådan, at også fysiktimernes matematiske formler angående f.eks. gnidningsløse trisser og masseløse snore var en uvirkelig fantasiverden?

Skolen leverer ikke slående eksempler på, at matematik (udover regning) umiddelbart kan bruges til noget afgørende. Og når det er sådan, er der vel grund til at være skeptisk over for matematikkens brugbarhed i det hele taget. Erfaringer med ekspertuenigheder om f.eks. risikoberegninger for atomkraftværker og økonomiske og meteorologiske prognose-modeller peger i samme retning.

Man kan ikke stole på matematiske modeller.

**KONKLUSION 1.** Da 1) matematiske modeller får stigende betydning, og da 2) hverken blind skepsis eller blind tiltro rækker, er der behov for konkret indsigt i forskellighedheden af matematiske modeller.



## VII. MATEMATISKE MODELLER: VEJLEDNING ELLER VILDLEDNING?

Et godt udgangspunkt for vurdering af den samfundsmæssige brug af matematiske modeller i forskellige sammenhænge er motivfortolkning. Hvem betaler for det? Og hvilke interesser varetager de? Men motivfortolkningen alene slår ikke til over for det politiske problem, som magtudøvelsen gennem matematiske modeller udgør. Desværre, må man ud fra et demokratisynspunkt sige.

Bygningsarbejderen og bygherren har grundlæggende forskellige interesser på byggepladsen. Alligevel vil sikkerhedsforskriften for kranudhængen ikke være et afgørende mellemværende. Fordi den slags kan regnes ud. For forskrifter, der har med blæse- og stormvejr at gøre, har bygningsarbejderen derimod mindre grund til at stole på bygherrens udregninger. Fordi de ifølge sagens natur kan være behæftet med uklare afgrænsningsproblemer. Og fordi bygherren kan have interesser i at tage chancer på bygningsarbejderens bekostning. For at kunne gøre sine interesser gældende med styrke, må bygningsarbejderen bl.a. have fornemmelse for den forskelligartede baggrund for de forskellige sikkerhedsforskrifter.

Som på byggepladsen er det også i de bredere sammenhænge. Nogle gange er de matematiske modeller hævet over de umiddelbare interesseudsagn. Nogle gange fungerer de som rent dække over skjult interessevaretagelse. Og oftest er der tale om, at modellerne både indeholder dele, der ikke er til diskussion, og dele, hvis forvaltning er en udpræget tillidssag.

Hverken blind skepsis eller blind tiltro rækker. Derfor er der behov for, at mange - bl.a. via uddannelsessystemet - får konkret indsigt i forskelligartetheden af matematiske modeller.

### SÆTNING 3. *Matematiske modeller ser ens ud.*

En af vanskelighederne ved at få indsigt i forskelligartetheden af matematiske modeller er, at de ser ens ud. Til illustration er her for kortheds skyld vist en række udsagn i form af ligninger:

$$(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

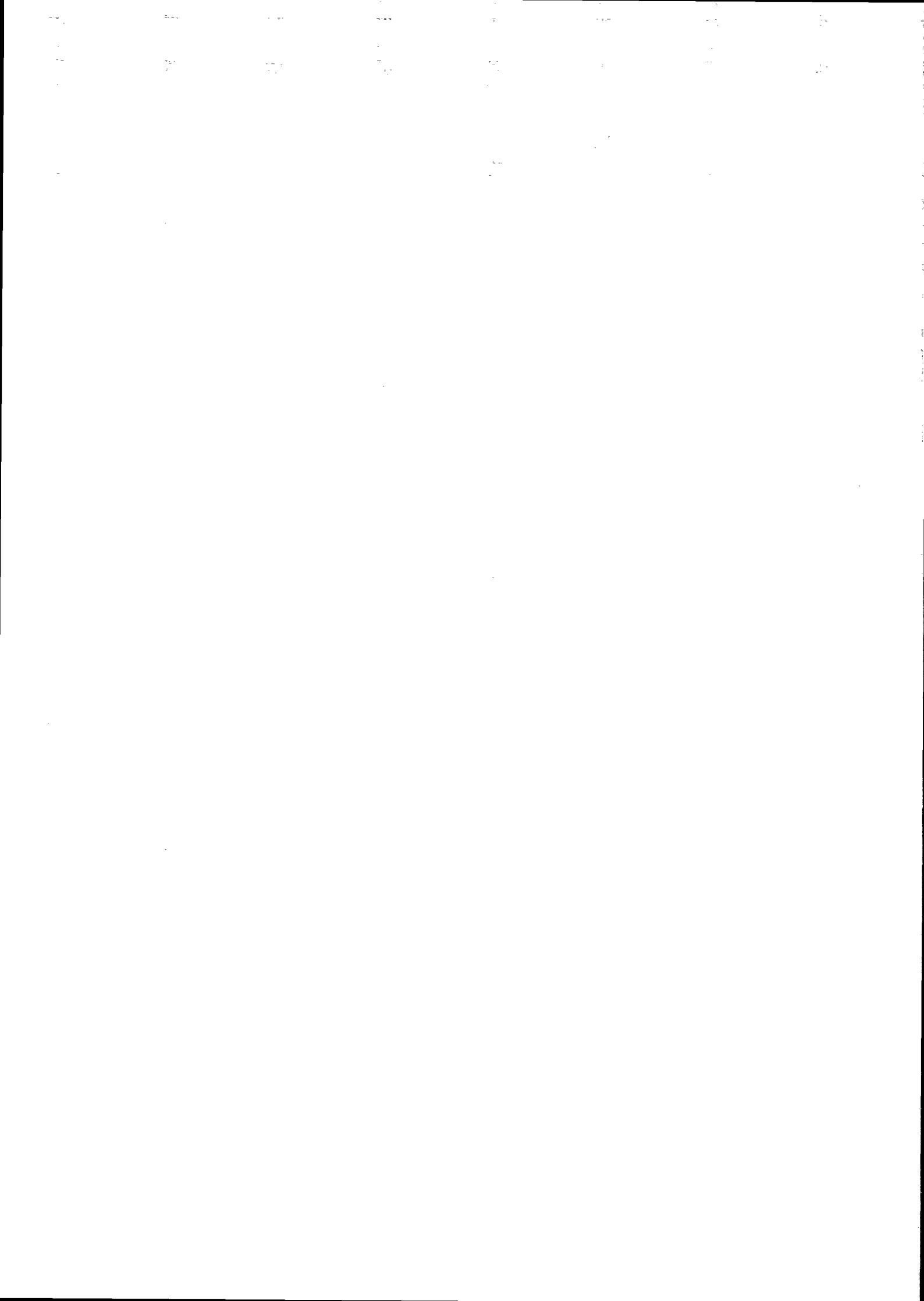
$$E = m \times c^2$$

$$K = k \times x$$

$$R = S \times K$$

For den uindviede repræsenterer alle disse ligninger slet og ret bogstavregning. Og også for konstruktørerne af modeller, hvor nogle af ligningerne kunne tænkes at optræde sammen med andre ligninger, vil de, bortset fra den første ligning, matematisk set fungere ens.

Men de fem udsagn er af væsensforskellig karakter. Den første ligning er rent matematisk. De to bogstaver a og b kan referere til hvad som helst, der kan udtrykkes ved tal. Ligningen er en følge af regnereglerne for tal. Den anden ligning udtrykker Pythagoras sætning, at kvadratet på hypotenusen er lig med summen af kvadraterne på katederne i en retvinklet trekant. Det er en grundlæggende



geometrisk egenskab ved plane flader. Sætningen gælder f.eks. ikke for retvinklede trekanter på en kugleoverflade. Den tredje ligning udtrykker Einstens energi - masse ækvivalens. Den gør krav på at have fundamental fysisk gyldighed. Den fjerde ligning er Hook's lov, at kraftpåvirkningen,  $K$ , og strækningen,  $x$ , af f.eks. et stykke ståltråd er proportionale. Loven er en tilnærmelse, der alt efter omstændighederne kan være mere eller mindre berettiget. Den sidste ligning udtrykker, at risiko er lig med sandsynlighed gange konsekvens. Den benyttes i risikoanalyser, f.eks. ved sammenligning af kernekraftværker med anden energiteknologi. Ligningen forudsætter, at konsekvenser meningsfuldt kan gøres op i talmæssige størrelser. Herefter repræsenterer den nærmest en definition af begrebet risiko, hvis relevans kan diskuteres.

De fem ligninger har, betragtet som udsagn om virkelige forhold, helt forskellig karakter. Men tages der afsæt i dem ved beregninger uden at deres forskelligartede udspring erindres, kommer regningerne til at virke ens. Det forholder sig på samme måde med større matematiske modeller. De ser ens ud, selvom deres karakter er væsensforskellig.

**SÆTNING 4.** *Forskellene i matematiske modellers karakter (og funktion) bliver tilsløret i skolen, fagene og samfundet.*

Selvom de matematiske modeller har meget forskellig karakter, formidles forskelligartetheden hverken i skolen, inden for fagene eller bredere i samfundet. Tværtimod er der tale om, at tvivlsomme modeller låner autoritet ved i det matematiske ydre at ligne mere troværdige modeller.

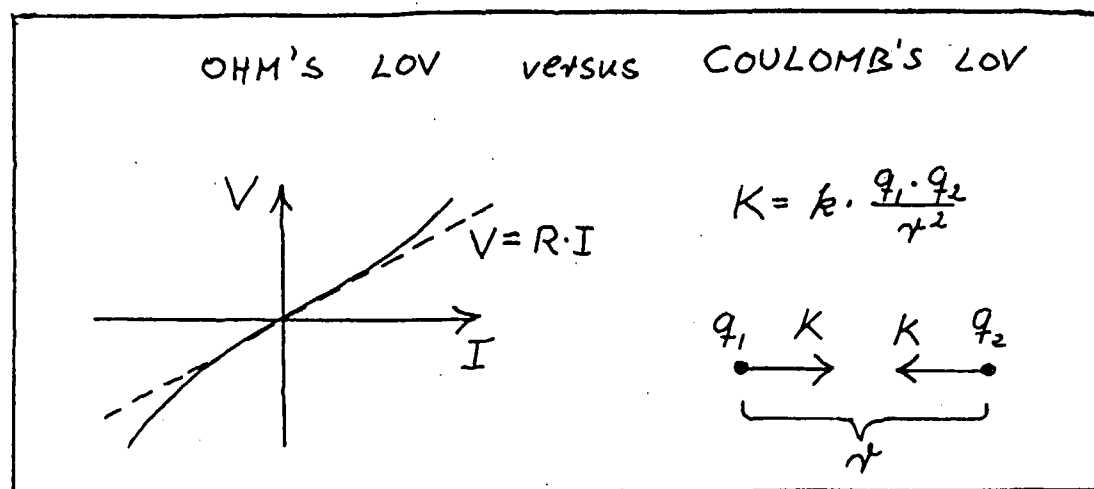
Hvorfor forskellene bliver tilsløret, skal ikke diskuteres her. Det vil føre for vidt. Jeg vil indskrænke mig til at illustrere, hvad jeg mener med, at de bliver tilsløret, ved hjælp af to eksempler:

**Eksempel 1:** I gymnasiets fysikundervisning fremstår Ohm's lov og Coulomb's lov som to ens fungerende hovedhjørnестene i elektricitetslæren. De er på samme måde vigtige formler i formelsamlingen som udgangspunkt for at regne en del af fysikopgaverne. Men de er væsensforskellige, selvom jo også sprogborgen sidestiller de to love.

Ohm's lov udsiger, at spændingsforskellen,  $V$ , mellem to ender af f.eks. en modstandstråd og strømstyrken,  $I$ , gennem tråden er proportionale. Proportionalitetskonstanten,  $R$ , kaldes så trådens elektriske modstand. Loven følger alene af, at spændingsforskellen skifter fortegn, når strømmen vendes. Det ses på figuren, hvor den fuldt optrukne kurve viser en sammenhæng mellem  $V$  og  $I$ , der er i overensstemmelse hermed. Og en sådan kurve kan altid ved tilstrækkelig små værdier af  $V$  og  $I$  tilnærmes en ret linie (den stiplede) vilkårligt godt. Ohm's lov gør ikke krav på almen gyldighed, selvom den for mange praktiske formål er en god tilnærmelse. Den er netop som Hook's lov en tilnærmelse, der alt efter omstændighederne kan være mere eller mindre berettiget.

Coulomb's lov udsiger, at den gensidige kraftpåvirkning,  $K$ , mellem to elektrisk ladede partikler er proportional med begge partiklers ladninger,  $q_1$  og  $q_2$ , og omvendt proportional med kvadratet på afstanden,  $r$ , mellem de to partikler. Inden

# VII. MATEMATISKE MODELLER: VEJLEDNING ELLER VILDLEDNING?



for rammerne af den klassiske elektrodynamik (Maxwell's ligninger) gør den krav på eksakt gyldighed. F.eks. er  $K$  ikke kun tilnærmelsesvis omvendt proportional med kvadratet på  $r$ . To-tallet i udtrykket  $r^2$  gælder eksakt. Det hænger logisk tvingende sammen med, at rummet har tre dimensioner. Helt præcist og ikke kun tilnærmelsesvist.

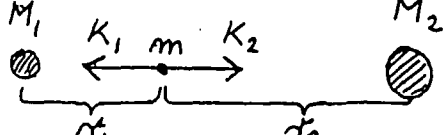
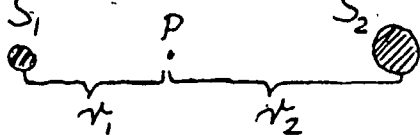
Hvis givne målinger passer dårligt med Ohm's lov, vil det være nærliggende at udvide modellen til  $V = R \times I + M \times I^3$  som en bedre tilnærmelse til den foreliggende situation. En sådan mulighed for modifikation foreligger ikke umiddelbart i tilfælde af uoverensstemmelse mellem Coulomb's lov og en anderledes målt sammenhæng mellem  $K$  og  $r$ . Det nærliggende her er at bortforklare målingerne. F.eks. ved at henvise til oversete biomstændigheder, der har virket forstyrrende. Ellers er opgaven ikke at ændre på Coulomb's lov isoleret set, men at lave om på hele den teoribygning, som den klassiske elektrodynamik udgør. Og omfortolke den store mængde af forskelligartede fænomener, der i sammenhæng med teoribygningens konsolidering har ladet sig forstå herudfra.

Til trods for væsensforskellene mellem Ohm's lov og Coulomb's lov, er det mit indtryk, at eleverne i gymnasiet normalt lærer at opfatte dem som to ligninger for to forskellige fænomener, men med samme status.

**Eksempel 2:** Det andet eksempel er ikke hentet fra skolen men fra universitetsverdenen. Det handler om en tradition inden for bygeografi. I rammen er eksemplet fremstillet pædagogisk forenklet, men ikke urepræsentativt, synes jeg.

Problemet om meteoren med massen  $m$  falder mod kloden med massen  $M_1$  i afstanden  $r_1$  eller mod kloden  $M_2$  i afstanden  $r_2$  lader sig løse ved anvendelse af Newtons gravitationslov: tiltrækningskraften,  $K$ , fra en klode på meteoren er lig med en naturkonstant,  $G$ , gange klodens masse,  $M$ , gange meteorens masse,  $m$ , divideret med kvadratet på afstanden mellem meteoren og kloden. Meteoren



ASTRONOMI	BYGEOGRAFI
	
<p><u>Problem:</u> Til hvilken side falder meteoren m ?</p>	<p><u>Problem:</u> I hvilken by handler personen p ?</p>
<p><u>Løsning:</u></p>	<p><u>Løsning:</u></p>
$K_1 = G \frac{m \cdot M_1}{r_1^2} \quad K_2 = G \frac{m \cdot M_2}{r_2^2}$	
<p>Hvis <math>M_1/r_1^2 &gt; M_2/r_2^2</math> falder meteoren til venstre.</p>	<p>Hvis <math>S_1/r_1^2 &gt; S_2/r_2^2</math> handler personen til venstre.</p>
<p>Hvis <math>M_1/r_1^2 &lt; M_2/r_2^2</math> falder meteoren til højre.</p>	<p>Hvis <math>S_1/r_1^2 &lt; S_2/r_2^2</math> handler personen til højre.</p>

falder mod den klode, der trækker mest i den.

Problemet om, hvor personen i afstanden  $r_1$  fra byen med størrelsen  $S_1$  og i afstanden  $r_2$  fra byen med størrelsen  $S_2$  handler, behandles i princippet undertiden i bygeografi som antydnet. Og det sker under navnet *gravitationsmodel*, som jo lægger op til den sidestilling, der er foretaget i rammen.

Der er ikke noget forkert i at sammenfatte nogle bygeografiske data i en matematisk formel. Det kan være både praktisk og overbliksgivende. Men det er vildledende, hvis nogen bringes til at tro, at der herved er etableret en beregningssituation svarende til den newtonske mekaniks, fordi den matematiske formel udvendigt og formelt ligner Newton's gravitationslov. Den bygeografiske model har status som Ohm's lov, den astronomiske som Coulomb's. I bygeografien tilpasses formlerne løbende til data. F.eks. ved at ændre  $r^2$  til  $r^{1.8}$  el.lign. I Newton's gravitationslov gælder to-tallet i  $r^2$  eksakt. Det hænger som i Coulomb's lov logisk tvingende sammen med, at rummet har tre dimensioner.

Det er ikke mit indtryk, at der normalt gøres opmærksom på den kvalitative forskel til newtonsk mekanik, når der i den omtalte bygeografiske tradition arbej-

## VII. MATEMATISKE MODELLER: VEJLEDNING ELLER VILDLEDNING?

des med *gravitationsmodellen*. Tværtimod lånes der uberettiget autoritet fra den newtonske mekanik ved brug af ordet.

KONKLUSION 2. *En grovskelnen burde introduceres. Bl.a. i undervisningen i gymnasiet, mellem teoribaserede matematiske modeller og ad-hoc matematiske modeller.*

De flere og flere eksperter, som samfundsudviklingen fører med sig, og deres stigende brug af matematiske modeller, gør en øget opmærksomhed på de matematiske modeller demokratisk nødvendig. Da hverken blind skepsis eller blind tiltro rækker, er der behov for, at så mange som muligt kan blande sig ud fra konkret indsigt i forskelligartetheden af matematiske modeller. Og da der jo er grænser for, hvad den enkelte kan overkomme at sætte sig ind i, må indsigten tilvejebringes gennem pædagogisk udvalgte eksempler. Bl.a. i undervisningen i gymnasiet.

Da de matematiske modeller umiddelbart ser ens ud, og da dette for det meste medfører en tilsløring af deres forskelligartethed nærmere end at virke som en udfordring til at synliggøre forskelligartetheden, er der behov for at angribe sagen ret håndfast til en start. Der bør introduceres en grovskelnen. Der bør skelnes mellem *teoribaserede matematiske modeller* som Coulomb's lov og den astronomiske model til den ene side og *ad-hoc matematiske modeller* som Ohm's lov og den bygeografiske model til den anden.

Med teoribaserede matematiske modeller mener jeg modeller, der er sammenvævet med eller udledt som specialanvendelse af en bredere funderet matematisk formuleret teori. I modsætning hertil tager ad-hoc matematiske modeller udgangspunkt direkte i den foreliggende kontekst for at sammenfatte den i kompakt matematisk sprog. Det empiriske belæg for ad-hoc modellen hentes i den foreliggende situation, medens den teoribaserede model indirekte støtter sig til den bredere mængde empiri som gennem hidtidige modelanvendelser af teorien har bidraget til teoriens etablering og konsolidering.

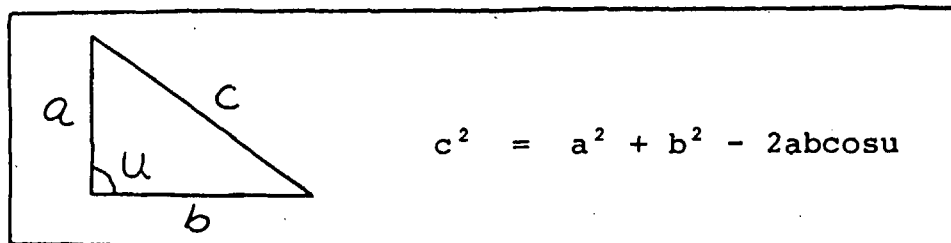
Er det ikke trukket hårdt op? Findes der ikke alle mulige glidende overgange? Jo, men for at orientere sig er det nødvendigt at være opmærksom på yderpunkterne. Frakender jeg ikke (som fysiker) alt andet end fysik teoretisk status? Nej, men det er rigtigt, at netop fysikkens teoridannelser på godt og ondt udmærker sig ved at være udviklet i sammenhæng med matematikken. Andre teorier er ikke på samme måde formuleret matematisk i selve deres udgangspunkt. Bortset fra geometri, køteori, populationsgenetik og ?? Og spillet omkring de matematiske modeller afhænger af, om de refererer til netop en matematisk formuleret teori eller ej.

SÆTNING 5. *Teoribaserede matematiske modeller kan underlægges både empirisk og teoretisk kontrol, ad-hoc matematiske modeller kun empirisk.*

Hvilken betydning har da den indførte skelnen? Er teoribaserede matematiske modeller mere troværdige end ad-hoc matematiske modeller? Mere virkelighedstro? Nej, ikke i sig selv, fordi der ved enhver modeldannelse idealiseres. Der ses

bort fra en række forhold både for at gøre modeldannelsen mulig og for at gøre den simpel. Og en teoribaseret matematisk model kan være så idealiseret, at den er vildledende i en given praktisk sammenhæng. Medens en ad-hoc matematisk model kan være troværdig ved at være så udbygget, at det nærmer sig en total kortlægning af det modellerede fænomen.

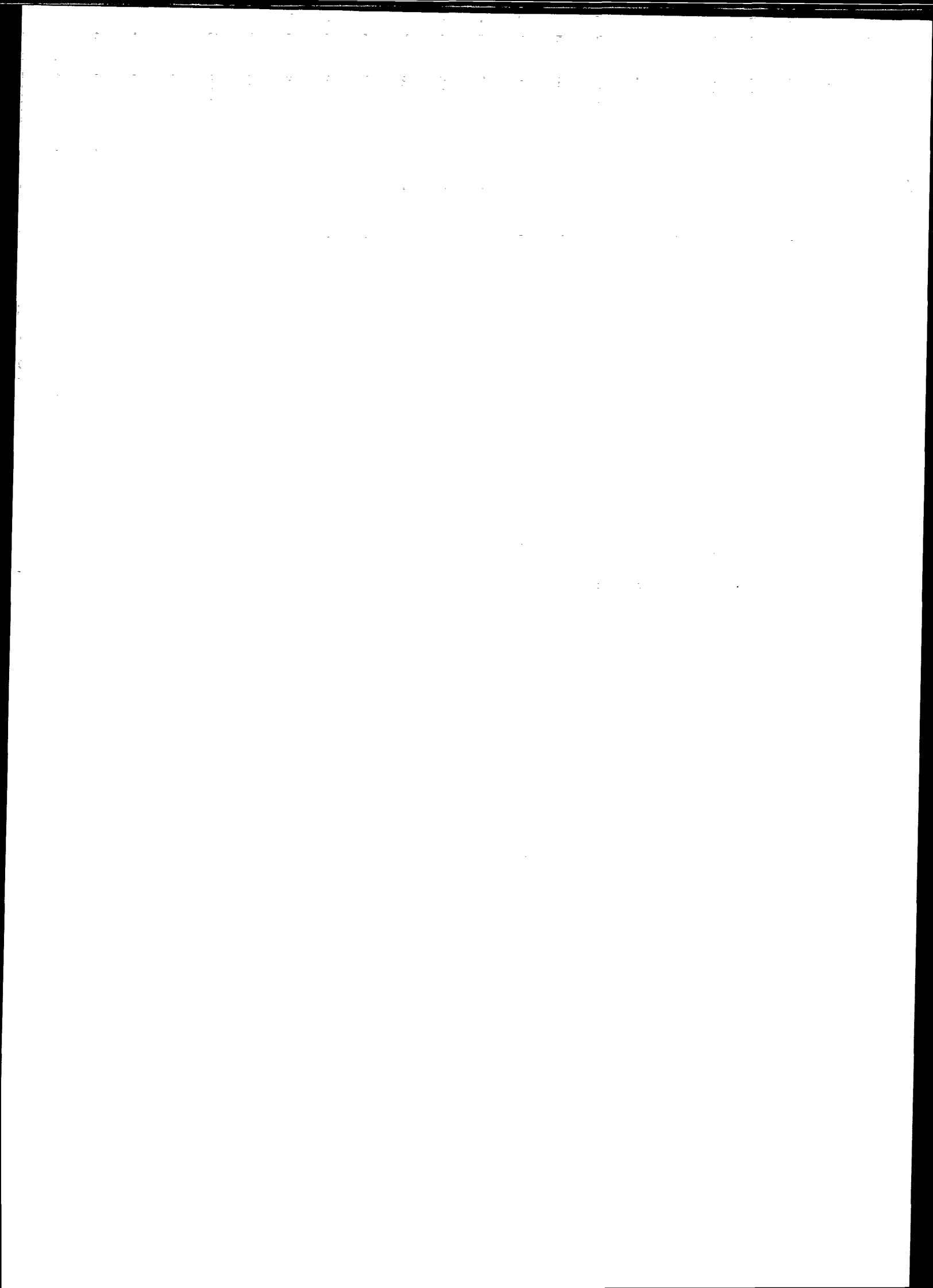
Forskellen ligger i, hvilke slags muligheder der er for at kontrollere modellernes troværdighed. Vilkårene for at bedømme modellernes idealisationer er forskellige.



Teoribaserede matematiske modeller kan til forskel fra ad-hoc matematiske modeller kontrolleres teoretisk. Til illustration af, hvad der menes hermed, er der i rammen vist en tilnærmelsesvis retvinklet trekant. Lad os tænke, at den indgår i en bygningskonstruktionsmodel. Og at vi i konstruktionsudregningerne antager, at den er retvinklet, d.v.s. benytter at  $c^2 = a^2 + b^2$ . Herved begås en beregningsfejl, da ingen trekanter i virkelighedens verden er ideelt retvinklede. Og hvis vi kun havde den matematiske model  $c^2 = a^2 + b^2$  til rådighed, måtte vi, før bygningen var opført, indskrænke os til en løs vurdering af konsekvenserne af, at vinklen  $u$  f.eks. kan variere mellem  $89^\circ$  og  $91^\circ$ . Men da den matematiske model *retvinklet trekant* er indeholdt som specialtilfælde af den bredere teori om plane trekanter i det hele taget, kan konsekvenserne af variationen af  $u$  beregnes præcist ved hjælp af den mere almene formel for trekanter:  $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos u$ . F.eks. med det resultat, at idealiseringen  $c^2 = a^2 + b^2$  er uproblematisk i forhold til formålet med modellen.

Et andet eksempel på teoretisk kontrol har vi i krantippeproblemet. Hvor lidt skal krankonstruktionen veje i forhold til belastningen og kontravægten, for at vi kan tillade os at se bort fra dens bidrag til tipningen? Det kan mere eller mindre møjsommeligt, alt efter indvikletheden af kranens geometriske konstruktion, beregnes ved hjælp af de samme vægtstangsregler i den klassiske mekanik, som den idealiserede model var en særlig anvendelse af.

Spørges der derimod om mulighederne for havari i det hele taget af en bestemt type kran, som man må formode bl.a. forsikringsselskaberne spørger, findes der ikke på samme måde en teoretisk referenceramme at være i dialog med om nødvendige simplificeringer ved udviklingen af eventuelle matematiske modelberegninger. Deres troværdighed hænger på konfrontation med ulykkesdata. Altså empirisk kontrol.



## VII. MATEMATISKE MODELLER: VEJLEDNING ELLER VILDLEDNING?

Tippeproblemet lader sig på veldefineret måde placere inden for en matematisk formuleret teoris rammer. Der er derfor styr på, hvad der ses bort fra ved konstruktionen af matematiske modeller til at få overblik over problemet. Og fejlene, der begås ved at se bort fra det ene eller det andet, kan vurderes både ved at sammenholde modellerne med empirien og med teorien.

Havariproblemet indeholder mange flere uklare momenter. Ved opstilling af en ad-hoc matematisk model til at få overblik over problemet vil hovedspørgsmålet nærmere være, hvad der er overset, end betydningen af det der er set bort fra. Og kun empirisk kontrol kan hjælpe med svar.

**SÆTNING 6.** *Teoribaserede matematiske modeller er tilgængelige for offentlig kritik og kontrol (fra uafhængige eksperter), kritik af ad-hoc matematiske modeller kræver adgang til data.*

En skelnen mellem om matematiske modeller er teoribaserede eller ad-hoc prægede kan som sagt ikke umiddelbart bruges til at skille troværdige modeller fra utroværdige, men kun til at skelne mellem forskellige vilkår for at tage stilling til deres troværdighed. Indebærer den indførte grovskelnen da ikke et for indviklet og tamt budskab til, at man kan gøre sig håb om, at det af demokratihensyn kunne afleveres i f.eks. gymnasieundervisningen?

Ved første øjesyn, jo. Men ved andet er budskabet nu ikke så tamt endda.

Forskellene mellem vilkårene for at udøve empirisk kontrol (sammenligning med data) og teoretisk kontrol (sammenligning med teori) viser nemlig, at omstændighederne omkring brugen af de to typer matematiske modeller er politisk væsensforskellige.

Empirisk kontrol af ad-hoc matematiske modeller kræver adgang til data. Og denne adgang kan f.eks. monopoliseres af dem, der har råd til at indsamle dem. Især i disse EDB-tider, hvor der ofte opereres med meget store datamængder. (Efter sigende lå der fem mandårs arbejde bag startopbygningen af den databank, som de danske nationaløkonomiske (økonometriske) modeller trækker på).

Teoretisk kontrol af teoribaserede matematiske modeller kræver indsigt i teori. Denne indsigt er normalt forbeholdt særlige eksperter i kraft af deres uddannelse. Men uden stavnsbånd er det trods alt svært at forhindre, at nogen af de særligt uddannede kan optræde som modeksperter.

Teoribaserede matematiske modeller er derfor alt andet lige mere tilgængelige for offentlig kritik end ad-hoc matematiske modeller.

Og det, synes jeg ikke, er så tamt et budskab endda. En af konsekvenserne heraf er heller ikke særlig indviklet. Den større mulighed for udefra kommende kritik og kontrol af teoribaserede matematiske modeller gør det mere risikabelt at fuske med dem end med ad-hoc matematiske modeller. Derfor har bygningsarbejderen mere grund til at stole på beregningen af sikkerhedsforskriften for kranudhængt end på vurderinger af havarimuligheder i bredere almindelighed.

**KONKLUSION 3.** *Det er godt, at f. eks. fiskeribiologiske og nationaløkonomiske matematiske modeller i stigende grad bearbejdes i gymnasiet, men forskellene til f.eks. newtonsk mekanik bør betones fremfor at blive tilsløret.*



J. HØJGAARD JENSEN

Det er mit indtryk, at arbejde med matematiske modeller uden for de traditionelle fysiske, kemiske og tekniske områder tages op i gymnasiet i takt med deres bredere anvendelse i det omgivende samfund. Det sker både i de respektive fag, f.eks. biologi og samfundsfag, og i matematiktimerne. Og det er et nødvendigt udgangspunkt for udviklingen af elevernes myndighed i forhold til den matematiske modelmagt.

Men uden en bevidst satsning er der bl.a. på grund af fagopsplitningen en indbygget fare for, at myndigheden forkvakles, fordi forskellene i de matematiske modellers karakter tilsløres. I matematikfaget vil focus nærliggende være på det formsmæssige, som jo fremtræder ens. Og i fysik, kemi, biologi, geografi, samfundsfag m.m. er det fristende for lærerne at gøre sig til talsmænd for et høfligt ligemageri for ikke at risikere at fornærme nogen.

I stedet er det vigtigt, at netop fagenes forskelligartethed tages op i tværfagligt samarbejde. F.eks. om matematiske modeller.

Til en start kunne lærerne f.eks. i fællesskab diskutere artiklen fra Illustreret Videnskab, februar 1986, som nedenstående overskrift hører til.

NATURVIDENSKABEN SER ET SYSTEM I SAMFUNDETS KRISER:

## NATURLOVE STYRER ØKONOMI OG POLITIK

Naturfænomener, der organiserer sig selv, er et af tidens mest brændende forsknings-  
emner. Naturens dynamik kan måske hjælpe os med at forstå økonomiske kriser.

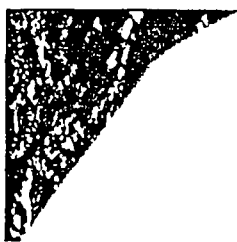
**D**en vestlige verden udvikler sig tilsyneladende efter samme mønster som man kender fra naturens fysiske processer. I en fast rytme afløses 20-30 års økonomisk fremgang af 20 års nedtur i et så forbløffende fast mønster, at naturvidenskabsfolk nu leder efter den matematiske baggrund for industrisamfundenes udvikling.

Deres idé er, at en sådan udvikling ikke kan være helt tilfældig, så rodet den end kan se ud undervejs.

Og mere end det. Det mønster, som får en lang række tilsyneladende kaotiske små uregelmæssigheder i samfundet til pludselig at samles i en fælles udvikling, er måske det samme mønster, som gælder for tilsvarende springvise ændringer i fysikkens og kemiens verden af hårde facts.

turændringer tegner imidlertid et langt mere komplekst billede.

Snekrystaller får vidt forskellige faconer, selv om de tilsyneladende har helt ens betingelser. Vi kan vende processen og få den til at løbe modsat omtrent som en film, der kører baglæns, men vender vi så om igen,



en ny måde. Traditionelle matematiske metoder har ikke kunnet belyse dem i detaljer.

Her har datateknikken skabt en næsten selvstændig »skole«, hvor eksperimenter og teori simuleres på computer. Her kan teorierne på kort tid afprøves under vidt forskellige betingelser.

Et eksempel på betydningen af den nye teknik er MIDIT-centeret, et bredt forskningscenter på Danmarks tekniske universitet i Ålborg.

Men er ikke så enkel  
som i skole-





REFERENCER

- Jens Højgaard Jensen: "Matematiske modeller - vejledning eller vildledning?", Naturkampen nr. 18, 1980 p. 14.
- Claus Poulsen: "Hvilken forskel er der egentlig mellem satellit- og fiskerimodellen?", Naturkampen nr. 18, 1980, p. 23.
- Jens Bjørneboe: "Om matematiske modellers troværdighed", Naturkampen nr. 19, 1981, p. 30.
- Troels Holm: "Når kun taberen overlever", Naturkampen nr. 19, 1981, p. 30.
- KRISTA-gruppen: "Hvor ligger Ballerup?", Naturkampen nr. 21, 1981, p. 27.
- Kirsten Hermann og Mogens Niss: "Beskæftigelsesmodellen i SMEC III - en autentisk matematisk model", Nyt Nordisk Forlag Arnold Busk, 1982, kapitel 1.

Den følgende artikel svarer til et foredrag holdt ved Statens Humanistiske Forskningsråds konference: "Gymnasiets matematikundervisning mellem studie- og erhvervskrav og demokratikrav", 23. - 25. november 1988 i Gilleleje. Artiklen er trykt i konferencerapporten, som er udgivet af IMFUFA, Roskilde Universitetscenter i 1989.

Hvordan vurderes gymnasiet som rekrutteringsbasis for de eksakte naturvidenskaber - kvalitativt og kvantitativt?

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, RUC

I forhold til arrangørernes overskrift har jeg ikke reageret ved at opregne, afveje og sammenfatte de aspekter af det rejste spørgsmål, jeg kan få øje på. I stedet for en skitse til et overblik, nøjes jeg i det følgende med det mere overkommelige at pointere to budskaber, som jeg finder vigtige i sammenhængen.

I. Gabet:

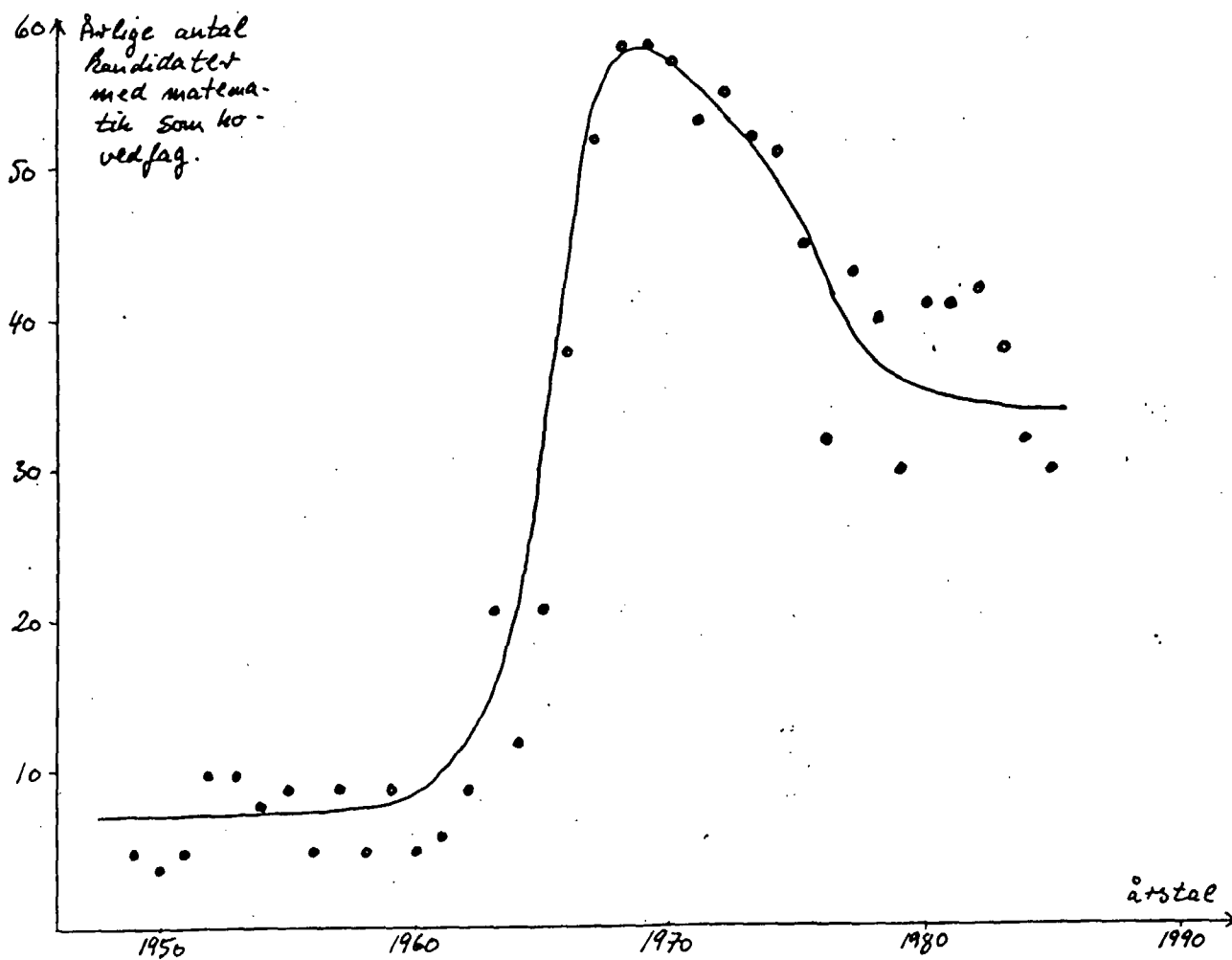
Det ene budskab drejer sig om gymnasiet som rekrutteringsbasis for de eksakte naturvidenskaber - kvantitativt.

Det er her min vurdering, at både gabet mellem universiteternes uddannelseskapacitet inden for de eksakte naturvidenskabsfag og søgningen til dem fra gymnasiet, og gabet mellem samfundsbehovet og kandidatproduktionen i de eksakte fag, hænger sammen med et grundlæggende kvalitativt gab, der blev kraftigt oparbejdet i 60'erne og 70'erne i netop de eksakte naturvidenskabsfag. Jeg tænker på gabet mellem det prætenderede og det realiserede i undervisningen. Både i gymnasiet og på universiteterne. Men især på universiteterne, der bliver nødt til klarere at se i øjnene, at der er en konflikt mellem ambitionen om at være masseuddannelsessteder og ambitionen om at være eliteinstitutioner.

Før jeg forklarer mig lidt nærmere, er det måske på sin plads, at jeg præciserer to ting. For det første, at min erfaringsbaggrund i forhold til "de eksakte naturvidenskaber" er matematik og især fysik. Og at jeg ikke tror, at mine vurderinger er dækkende for fag som f.eks. datalogi og biokemi, medmindre de reduceres til de eksakte sider af deres mere sammensatte fagparadigmer. For det andet, at det gab, jeg taler om i forbindelse med matematik- og fysikundervisning, i den grad er et internationalt fænomen, at det næppe giver mening at drage f.eks. særlige danske cirkler specielt til ansvar for situationen.

Har der udviklet sig et særligt stort gab mellem det prætenderede og realiserede i specielt matematik- og fysikundervisningstraditionen? Ja, det tror jeg. Og jeg har også en vurdering af, hvorfor det er sket. Som jeg kortest kan illustrere ved hjælp af f.eks. kurven over antallet af hovedfagskandidater i matematik i Danmark gennem årene, jvf. figur.

Kurven har to bemærkelsesværdige forløb. Dels et voldsomt vækstforløb i 60'erne, dels et mindre voldsomt faldende forløb i 70'erne. I anden forbindelse har jeg engang fremstillet den tilsvarende kurve for kandidaterne med hovedfag i fysik. Så vidt jeg husker, ligner den denne her ganske meget. Og ved samtaler med universitetsfolk fra forskellige lande, f.eks. DDR og USA, har jeg fået det indtryk, at dens karakteristika kan genfindes i ret så forskelligartede lande. Ligeledes kan forløbet bestående af eksplosiv øgning, efterfulgt af stagnation eller fald, genfindes tidsforskuet både i Danmark og internationalt også for søgningen til studierne i de to fag.



Kilder: Landsmøderapporten: "Matematikken i Danmark," 1981, og rapporten "Kandidater i matematik-, fysik- og kemi-fagene: "Hvor gik de hen?" 1987.



Den højre halvdel af den type kurver inviterer til overvejelser over, hvordan man genetablerer "normale" tilstande i gymnasiet og på universiteterne med henblik på rekrutteringen af kandidater i matematik og fysik. Min pointe med figuren er da at minde om, at tilstandene, der ledte frem til kandidatproduktionen i 1970, ikke kan betragtes som normale. Tværtimod er det de unormale forhold for fagene matematik og fysik i 60'erne, der er baggrunden for det opståede gab mellem det prætenderede og det realiserede.

Den voldsomme ekspansion af universitetsstudierne i fysik og matematik i 60'erne fandt sted som del af en international kampagne, der iværksattes i 50'erne. Under indtryk af betydningen af inddragelsen af de eksakte naturvidenskaber i anden verdenskrig for dens udfald, var der både i henseende til økonomi, velfærd og militær styrke en stærk tiltro til skemaet: videnskab -> teknologi -> samfundsudvikling.

Og der blev startet programmer for at forny undervisningen i matematik og "science" fra folkeskole til universitet ud fra en opfattelse af, at samfundenes samlede udviklinger afgørende afhæng heraf. Undervisningen skulle både inddrage flere personer og være mere centreret om indlæring af abstrakte, videnskabeligt orienterede grundbegreber end hidindtil.

Helt unormalt var det muligt på universiteterne samtidig at øge deltagerantallet og det faglige ambitionsniveau i matematik- og fysikstudierne, fordi kampagnen fik en usædvanlig stor del af de kvikkere hoveder blandt de unge til at søge ind på disse studier.

Men 60'erne var som sagt en unormal tid for de eksakte naturvidenskaber, som det ikke nytter at forsøge at drømme sig tilbage til. Så vidt jeg husker, var der f.eks. et par år, hvor mere end halvdelen af de Ph.D.-studerende i U.S.A. studerede fysik. Og noget sådant vender aldrig tilbage.

Hvad så? Hvad nu, hvor den senere ekspansion i 70'erne af uddannelsessystemet i sin helhed har bevæget sig uden om både den matematisk-fysiske gren i det danske gymnasium og de eksakte naturvidenskabsfag på alverdens universiteter?

Først og fremmest tror jeg man skal se i øjnene, at vi nu er tilbage i den normale situation, at det kun er en mindre del af de kvikkeste studenter, der kan bringes til at interessere sig for specielt matematik eller fysik som en hovedsag i deres tilværelse. Derfor er de matematiske og fysiske miljøer på universiteterne nødt til enten at operere med et realistisk fagligt ambitionsniveau for andre end de mest begavede eller at se kraftige indskrænkninger i møde.

Og hvis rekrutteringen skal øges, er det nødvendigt, at ikke kun eksamenskravene, men også ambitionsniveauet i undervisningen tilrettelægges efter et bredere publikum. Opskriften "højt pensumkrav, lavt tilegnelseskrav", altså en bevidst administration af et gab mellem det prætenderede og det realiserede, kan være en måde at overkomme en umulig stillet opgave fra omverdenen på, men duer ikke til udvikling af attraktive studiemiljøer.



Derfor skal universiteterne også være varsomme med at stille urealistiske krav til gymnasiet. Gymnasiet kæmper jo også med sit gab, selvom det har lagt "Kristensen og Rindung" og "Pihl og Storm" bag sig.

## II. Det vigtige:

Det andet budskab drejer sig om gymnasiet som rekrutteringsbasis for de eksakte naturvidenskaber - kvalitativt.

Det er et forsøg på at nærme mig, hvad der er det vigtige ved matematisk prægede kvalifikationer. Hvad er det, der kvalitativt er fælles i "flaskehalsuddannelserne?" Og som ikke kan substitueres med kvalifikationer fra andre slags uddannelser? Budskabet er, at det vigtige ikke så meget er at lære matematik som sådan, men at lære at tænke ved hjælp af matematik og tilsvarende symbolske abstraktioner. Og at der nok så meget er tale om en grundlæggende tænkemåde, som om en art teknisk færdighed. Samt at gymnasiet som institution og samlet forløb for eleverne ikke administrerer sig selv bevidst i forhold hertil.

Før jeg går over til at vurdere gymnasiet og dets muligheder, vil jeg illustrere "det vigtige" lidt nøjere ved hjælp af to problemløsningseksempler:

Problem 1: "Hvad er den samlede personlige beskatningsprocent som funktion af indkomstskatteprocenten og momsprocenten?"

Nogle vil mene, at dette problem, således formuleret, er for vanskeligt til at kunne løses af den typiske elev i 3.g. på den matematisk-fysiske gren. Andre, at det hører hjemme i folkeskolen.

Med betegnelserne  $I$  for indkomst,  $V$  for dertil svarende varepris før moms,  $s$  for indkomstskatteprocenten,  $m$  for momsprocenten og  $s^*$  for den samlede personlige beskatningsprocent kan problemløsningen præsenteres sådan:

$$\text{Da } I\left(1 - \frac{s}{100}\right) = V\left(1 + \frac{m}{100}\right)$$

fås

$$\underline{\underline{s^* = \frac{I-V}{I} \cdot 100 = (m+s) \cdot \frac{100}{100+m}}}$$

Det ses, at det er rigtigt, at problemet i forhold til de anvendte matematiske teknikker - procentregning og bogstavregning med de fire grundlæggende regningsarter - pensummæssigt hører hjemme, om ikke i folkeskolen, så i 1.g. Men det er også rigtigt, at der al-



ligevel er langt mellem folk med studentereksamen og uden videregående uddannelse af matematisk præget karakter, der, forelagt problemet, kan løse det. Fordi samspilstænkningen mellem det verbalt formulerede problem og den formelle matematiske formulering af det udgør en betydelig større hurdle for de fleste end de nødvendige matematiske manipulationer i sig selv.

"Det vigtige" i sammenhæng med matematisk prægede kvalifikationer - det, der er mest afgørende for, hvordan der siden sættes skel mellem folk - er efter min vurdering det, der skal til for f.eks. at kunne løse det verbalt formulerede skatteprocentproblem.

Problem 2: "Et tog bestående af lokomotiv og 10 vogne accelererer efter at have holdt ved en station. Hvor stort er trækket i den sidste vogn i forhold til lokomotivets træk i den første?"

Dette eksempel er medtaget for at minde om, at der også findes andre former for symbolske abstraktioner end matematiske. Og at der her er de samme vanskeligheder med at aktivere dem i forhold til givne konkrete sammenhænge.

Afgørende for at kunne besvare problemet er at Newtons anden lov ikke kun er tilegnet på formen:  $\text{kraft} = \text{masse} \times \text{acceleration}$ , men at den via erfaringer med anvendelsen af den er indarbejdet således: "For enhver masseansamling, som jeg efter frit valg måtte vælge at "slå en ring omkring", gælder, at summen af de ved afgrænsningen givne ydre kræfter er lig med massen af den af mig definerede ansamling gange dens acceleration". Da accelerationen af den sidste vogn er den samme som accelerationen af de 10 vogne betragtet som masseansamling, ses lokomotivets træk i den første vogn, som er eneste ydre vandrette kraft på systemet bestående af de 10 vogne, at være 10 gange så stor som trækket i den sidste vogn, fordi massen af systemet bestående af de 10 vogne er 10 gange så stor som massen af den sidste vogn.

Selvom Newtons anden lov er en del af pensum i 1.g, er det ikke svært at finde universitetsstuderende i fysik, som vil have svært ved at vælge mellem dette rigtige svar og svaret, at trækkene i den sidste og den første vogn er lige store.

"Det vigtige" i sammenhæng med matematisk prægede kvalifikationer - det, der er mest afgørende for, hvordan der siden sættes skel mellem folk - er måske ikke nødvendigvis forbundet med matematik. Måske skulle man spekulere over fællestrækkene ved de to problemløsningseksempler for at få pejling af "det vigtige?"

Nok om, hvad det er, der efter min vurdering er "det vigtige". Selvom der kunne skrives - og sikkert er blevet skrevet - doktor-disputater for at indkredse det, jeg har forsøgt at antyde gennem de to problemløsningseksempler, må det bl.a. af hensyn til omfanget af teksten her forblive ved antydningen.

Men hvordan vurderer jeg da gymnasiet og det's muligheder i forhold til "det vigtige"?



Her synes jeg, at jeg umiddelbart kan få øje på tre hindringer, der stiller sig besværende i vejen for gymnasieundervisningens kvalificering af gymnasieeleverne i "det vigtige", og hermed besværende i vejen for gymnasiets forberedelse af eleverne til "flaskehalsuddannelserne", herunder de eksakte naturvidenskaber:

### 1.hindring: Fagopsplitningen.

"Det vigtige" er at lære at arbejde med matematiske og tilsvarende symbolske tankegange på samme måde, som ingeniøren gør det, hvis han overhovedet gør det. Ikke som matematikeren gør det. Og heller ikke som fysikeren gør det. Med mindre der for den sidstes vedkommende specielt tænkes på hendes måde at (mis-)bruge matematik på.

Men matematiklæreren er opdraget som matematiker og vil ønske at trække undervisningen i retning af bevisførelse. Og fysiklæreren er opdraget som fysiker og vil ønske at undervise i naturlove med brug af matematik som forudsat redskab. Matematikundervisning er ikke noget erklæret formål for fysikundervisningen.

Det er min vurdering, at "det vigtige" ofte falder mellem stolene i gymnasiet. Måske er der noget at lære af folkeskolens matematikundervisning, folkeskolens mindre fagopsplitning på i alle tilfælde lærersiden taget i betragtning?

### 2.hindring: Instrumentalistiske holdninger.

Det er en udbredt vurdering i det danske samfund, at historisk bevidsthed er vigtig for den enkeltes både omverdensforståelse og selvforståelse. Alligevel er der ikke mange, der forfalder til at tro på historien som en slags opslagsværk med problemløsningsstrategier til bestemte foreliggende situationer. Og det, tror jeg, skyldes, at mange genkender begrebet "historisk bevidsthed" hos sig selv.

Derimod mener de færreste at genkende en "matematisk bevidsthed" hos sig selv. Selvom alle på et eller andet niveau naturligvis har en. Der er en udbredt anerkendelse i det danske samfund af behovet for matematik. Men som nødvendig ekspertise i samfundet og ikke som et behov for bevidsthed hos den enkelte. Hvorfor matematik i højere grad anskues som et sæt facitorienterede redskaber end historie.

De instrumentalistiske holdninger til matematikprægede kvalifikationer fører typisk til et pres i retning af udvendig tillæring af for mange og for raffinerede redskaber i undervisningen. Således at der ikke bliver tid til at lære "det vigtige".

### 3.hindring: Fælles front i undervisningen.

Matematikens særlige deduktive måde at fremstille sig selv på i lærebogen forstærker vel uddannelsessystemets almindelige behov for af administrative og organisatoriske grunde at tænke i fælles front i undervisningen.

Jeg tror imidlertid ikke, at matematikindlæring i særlig grad indbyder til fælles front i undervisningen. Tværtimod, er matematisk prægede kvalifikationer det, jeg kender, der i højeste grad kræver elevdifferentieret undervisning.

Indlæringen af netop de centrale begreber og indebyrden af dem i anvendelsessammenhæng, d.v.s. "det vigtige", foregår typisk i et springende forløb forskelligt fra person til person. Som at lære at cykle eller at svømme.

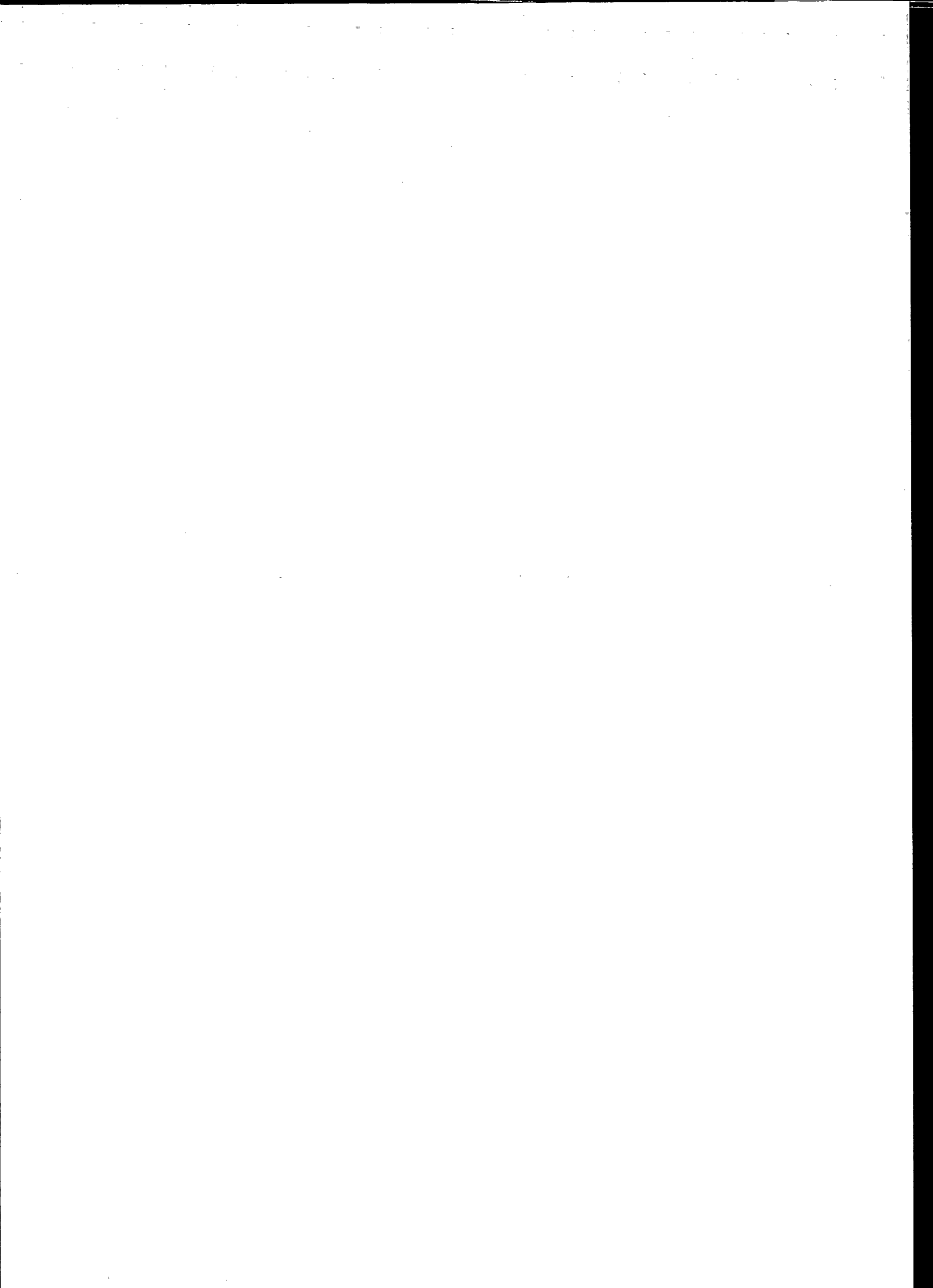
————— 0 —————

Måske er der stadig en del matematikundervisning, der ligner "tørsvømningen" i gamle dages landsbyskole for meget?

Jeg er bange for det. Også selvom udviklingen i det danske gymnasium bevæger sig i en positiv retning i disse år. Og selvom det står sig ved sammenligning med mange udenlandske gymnasieskolars matematikundervisning.

Hvad angår gymnasiets forhold til universiteterne mener jeg, som sagt, at universiteterne skal være varsomme med at stille urealistiske krav til gymnasiet. Og gymnasiet skal være varsom med at lytte til urealistiske krav fra universiteterne.

Ellers forsvinder "det vigtige" i "gabet".



De følgende tre artikler har været trykt i henholdsvis GAMMA 68 (1987), GAMMA 70 (1987) og GAMMA 73 (1988). GAMMA er et uformelt tidsskrift for fysik, der finansieres af Niels Bohr Institutet og henvender sig til interesserede på danske universiteter, gymnasier m.m.



RULLENDE KUGLE PÅ Roterende UNDERLAG.

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, RUC.

Vistnok i 1971 var jeg som instruktør ved KU med til at indføre mindre projektarbejder ved fysik 1 - en forløber for de nuværende "frie øvelser". Et af projekterne, som jeg var knyttet til som vejleder, drejede sig om at finde frem til banekurven for en rullende kugle på et roterende underlag. Det var et meget vellykket projekt. Gruppen arbejdede entusiastisk med både at frembringe heksemelsspor på en skive, der blev holdt roterende ved hjælp af en gramfonmotor, og med at lave EDB-programmer til numerisk løsning af problemet. Højdepunktet i gruppemedlemmernes arbejde oplevede jeg, da de begejstret fortalte mig, at det var lykkedes dem at beregne de mulige banekurver analytisk, og at beregningerne viste det overaskende, at kuglen bevægede sig inden for et begrænset område af underlaget (bestemt af begyndelsesbetingelserne). Gruppedeltagernes selvtillid var tydeligt styrket ved således selv at have "regnet den ud". Tilmed var udregningen og resultatet mig vidende ikke kendt af nogen før.

På RUC har jeg med mellemrum refereret til dette eksempel på et fysikpræget projektarbejde i diskussioner med studerende ved den naturvidenskabelige basisuddannelse. Pointen ved at henvise til et sådant hverken tværfagligt eller samfundsrelevant projekt har været at gøre opmærksom på et dilemma omkring deltagerstyringen af projektarbejder, der involverer tunge apparater som fysik. Kort sagt vil det typisk være sådan, at en stor indflydelse fra de studerendes side på problemformuleringen, f.eks. styret af dens samfundsrelevans, nemt medfører inddragelse af f.eks. så vanskelig fysik, at den efterfølgende arbejdsproces bliver meget lærerstyret. Medens en arbejdsproces med f.eks. fysikprægede emner styret af de studerende selv som i tilfældet med den rullende kugle på det roterende underlag normalt forudsætter, at emnerne udpeges af læreren med henblik på, at det kan lade sig gøre.



Forslaget om at regne på det fjollede rulleproblem kom fra mig.

Efterhånden har jeg betjent mig af rullesolskinshistorien så mange gange, at den er blevet en myte. Men når folk så har spurgt mig, hvordan det mere nøjagtigt er med den kugle på grammofonskiven, har jeg ikke kunnet svare. Projektrapporten fra 1971 er forlængst forsvundet for mig, og jeg kunne ikke huske detaljer. Så derfor har jeg måttet regne problemet igen på ny. Og facit er egentlig kuriøst. Måske nogle af GAMMA's læsere også synes det?

#### UDREGNINGER.

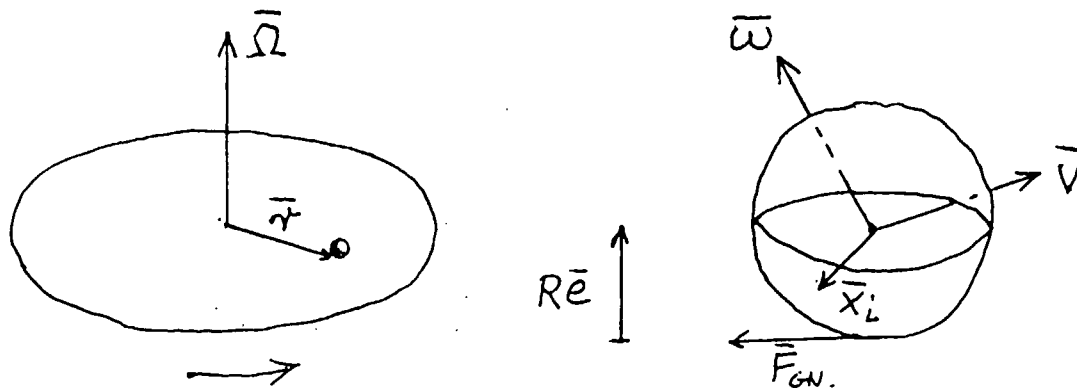
De bestemmende ligninger for fænomenet er:

Tyngdepunktssætningen:  $M \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{F}_{GN.} + \bar{F}_{CENTR.} + \bar{F}_{COR.}$

Momentsætningen:  $\frac{2}{5} M R^2 \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{L}_{GN.} + \bar{L}_{CENTR.} + \bar{L}_{COR.}$

Rulningsbetingelsen:  $\bar{v} = \bar{\omega} \times R \cdot \bar{e}$

Der regnes i forhold til et koordinatsystem med faste akser i forhold til det roterende underlag og nulpunkt i dets omdrejningspunkt. Altså et accelereret koordinatsystem. Derfor virker der centrifugalkræfter og corioliskræfter på hver enkelt massedel af kuglen. Tilsammen medfører det kræfter og kraftmomenter på hele kuglen, der sammen med gnidningskraften og dens kraftmoment fastlægger dens bevægelse i forhold til underlaget.



Idet  $\bar{x}_{iv}$  betyder den vandrette komponent af stedvektoren  $\bar{x}_i$  for den  $i$ 'te massedel af kuglen regnet fra dens centrum, fås for summen af centrifugalkræfter på kuglens massedele:

$$\bar{F}_{CENTR.} = \sum_{kugle} m_i \Omega^2 (\bar{r} + \bar{x}_{iv}) = M \Omega^2 \bar{r},$$

fordi  $\sum_{kugle} m_i \bar{x}_{iv} = 0$  af symmetri Grunde.

For det samlede kraftmoment om kuglens centrum hidrørende fra centrifugalkræfterne på kuglens enkeltdele fås:

$$\bar{\tau}_{CENTR} = \sum_{kugle} \bar{x}_i \times m_i \Omega^2 (\bar{r} + \bar{x}_{iv}) = 0,$$

fordi  $\sum_{kugle} m_i \bar{x}_i = 0$  og  $\sum_{kugle} m_i \bar{x}_i \times \bar{x}_{iv} = 0$  af symm. grunde.

For summen af corioliskræfter på kuglens massedele fås:

$$\bar{F}_{COR.} = \sum_{kugle} 2m_i (\bar{v} + \bar{\omega} \times \bar{x}_i) \times \bar{\Omega} = 2M \bar{v} \times \bar{\Omega},$$

fordi  $\sum_{kugle} m_i \bar{x}_i = 0$  af symmetri Grunde.

For det samlede kraftmoment om kuglens centrum hidrørende fra corioliskræfterne på kuglens enkeltdele fås:

$$\bar{\tau}_{COR.} = \sum_{kugle} 2m_i \bar{x}_i \times ((\bar{v} + \bar{\omega} \times \bar{x}_i) \times \bar{\Omega}) = \sum_{kugle} 2m_i \bar{x}_i \times ((\bar{\omega} \times \bar{x}_i) \times \bar{\Omega})$$

fordi  $\sum_{kugle} m_i \bar{x}_i = 0$  af symmetri Grunde. Idet  $\bar{x}_{i1}$  betyder den lodrette komponent af  $\bar{x}_i$  og da  $(\bar{\omega} \times \bar{x}_i) \times \bar{\Omega} = (\bar{\Omega} \cdot \bar{\omega}) \bar{x}_i - (\bar{\Omega} \cdot \bar{x}_i) \bar{\omega}$

fås videre:

$$\bar{\tau}_{COR.} = \sum_{kugle} 2m_i \Omega x_{i2} (\bar{\omega} \times \bar{x}_i) = \sum_{kugle} 2m_i \Omega x_{i2} (\bar{\omega} \times (\bar{x}_{iv} + \bar{x}_{i2})) =$$

$$\left( \sum_{kugle} m_i x_{i2}^2 \right) \cdot 2\Omega (\bar{\omega} \times \bar{e}) = \frac{4}{5} M R^2 \Omega (\bar{\omega} \times \bar{e}).$$

fordi  $\sum_{\text{kugle}} m_i \mathbf{x}_{i1} \cdot \bar{\mathbf{x}}_{iv} = 0$  af symmetri Grunde

Tyngdepunktsætningen ser derfor således ud:

$$1) \quad M \frac{d\bar{\mathbf{v}}}{dt} = \bar{\mathbf{F}}_{GN} + M\Omega^2 \bar{\mathbf{r}} + 2M\Omega (\bar{\mathbf{v}} \times \bar{\mathbf{e}})$$

og momentsætningen således:

$$2) \quad \frac{2}{5} MR^2 \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{\mathbf{F}}_{GN} \times R\bar{\mathbf{e}} + \frac{4}{5} MR^2 \Omega (\bar{\omega} \times \bar{\mathbf{e}})$$

for en kugle på et roterende underlag.

Forudsættes gnidningen mellem underlag og kugle at være tilstrækkelig til, at der er ren rulning, kan gnidningskraften beregnes. Det sker ved at differentiere rulningsbetingelsen og indsætte  $\frac{d\bar{\mathbf{v}}}{dt}$  og  $\frac{d\bar{\omega}}{dt}$  fra 1) og 2). Herved fås:

$$\boxed{\frac{1}{M} \bar{\mathbf{F}}_{GN} = -\frac{2}{7} \Omega^2 \bar{\mathbf{r}}}$$

Så længe  $\frac{2}{7} \Omega^2 r < \mu g$  ( $\mu$  = gnidningskoefficient,  $g$  = tyngdeaccelerationen) vil en kugle, der til en start ruller rent, altså blive ved med at rulle rent og være påvirket af en gnidningskraft rettet mod centrum af det roterende underlag. Set fra inertialsystemet er gnidningskraften den eneste virkende kraft på kuglen i det vandrette plan. Og den spærrer kuglen inde på et begrænset område af underlaget. Mærkeligt!?

Indsættes udtrykket for  $\bar{\mathbf{F}}_{GN}$  i 1) fås:

$$\frac{d\bar{\mathbf{v}}}{dt} = \frac{5}{7} \Omega^2 \bar{\mathbf{r}} + 2\Omega \bar{\mathbf{v}} \times \bar{\mathbf{e}}$$

som bevægelsesligningen, der fastlægger de mulige banekurver for kuglen på det roterende underlag. (Den tilsvarende ligning for en partikel på et glat roterende underlag fremgår ved at ændre faktoren  $\frac{5}{7}$  til 1).

Bevægelsesligningen lader sig nemmest løse i kompleks notation.

Sættes  $\bar{r} = z$ ,  $\bar{v} = \frac{dz}{dt}$  og  $\bar{v} \times \bar{e} = -i \frac{dz}{dt}$  fås:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{5}{7} \Omega^2 z - i 2 \Omega \frac{dz}{dt} \quad \text{med den fuldstændige løsning:}$$

$$\boxed{\begin{aligned} Z &= Z_1 \exp(-i \hat{\Omega} t) + Z_2 \exp(-i \check{\Omega} t) \\ \hat{\Omega} &= (1 + \sqrt{\frac{2}{7}}) \Omega \quad \text{hvor} \quad \check{\Omega} = (1 - \sqrt{\frac{2}{7}}) \Omega \end{aligned}}$$

og  $Z_1$  og  $Z_2$  bestemmes af begyndelsesbetingelserne.

Kuglens afstand til centrum varierer mellem yderpunkterne

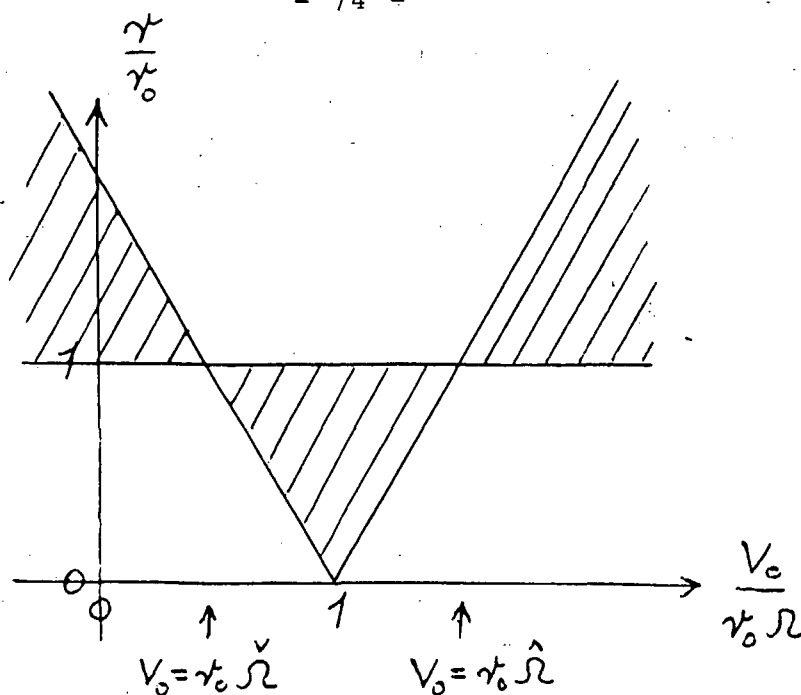
$$|Z|_{\max} = |Z_1| + |Z_2| \quad \text{og} \quad |Z|_{\min} = ||Z_1| - |Z_2||$$

I området mellem disse to radier kommer den til gengæld godt rundt på grund af det irrationale forhold mellem  $\hat{\Omega}$  og  $\check{\Omega}$ .

Nedenstående figur er vist som en mere konkret illustration af, hvordan givne begyndelsesbetingelser bestemmer det område, kuglen er bundet til at bevæge sig i. De valgte begyndelsesbetingelser er  $z_{t=0} = r_0$  og  $\left. \frac{dz}{dt} \right|_{t=0} = -iv_0$  svarende til, at kuglen startes i afstanden  $r_0$  fra centrum med hastigheden  $v_0$  vinkelret på radiusvektor og modsat underlagets omdrejningsretning. Skraveringen viser, hvilke afstande fra centrum kuglen vil bevæge sig i for forskellige værdier af  $v_0$  i forhold til  $r_0 \Omega$ .

#### KOMMENTARER:

1. En rullende kugle på et roterende underlag kan næppe betragtes som et nøgleeksempel i fysik. Det er svært at komme i tanke om analogsituationer, hvor regningernes kuriøse resultat skulle have betydning. Ved ladede partiklers bevægelse i magnetfelter kan der også være tale om binding til be-



stemte områder af rummet af ikke-konservative kræfter. Men det sker på en anden måde end i eksemplet her.

2. I en tid, hvor der - især uden for fysikernes kredse - tales om paradigmeskift i fysik og opgør med den newtonske tankeverden, er grammofonkugleregnestykket imidlertid en god illustration af nogle internt fysiske grunde til, at denne tankeverden har stået så stærkt.

Antagelserne, der ligger til grund for udregningen af de ikke på forhånd oplagte banekurver for kuglen på grammofonen, er alene:

- Kraften på en partikel er lig dens masse gange dens acceleration (Newton's II.lov).
- Aktion = reaktion for kraftpåvirkningen mellem to partikler (Newton's III.lov).
- Der er tilstrækkelig stor gnidning.

Tyngdepunktsætningen og momentsætningen er konsekvenser af a. og b. Og rulningsbetingelsens opfyldelse forudsætter ikke viden om gnidningsmekanismer, men alene, at de kan være der i et vist omfang.

Altså: "For Newton og RATIONEL mekanik!"

3. I de ændringer i gymnasiets fysikundervisning, der foregår i disse år, er mekanik af mange gode grunde på vej ud af pensum i forhold til tidligere. Selv om eksemplet her ligger en del ud over gymnasiets rækkevidde, kan det måske alligevel virke som en påmindelse om, at der næppe findes et delområde af fysikken, hvor mulighederne for oplevelser af SELV at kunne REGNE DEN UD i så høj grad er til stede, som i mekanik.

### Rullende Regnefejl

Jens Højgaard Jensen  
IMFUFA, RUC

I min artikel om den rullende kugle på det roterende underlag i det sidste nummer af GAMMA (nr. 68) var der en regnefejl.<sup>\*)</sup> Desværre har den konsekvenser for stort set alle udregningerne i artiklen. Selvom konklusionerne af de rigtige udregninger er lige så kuriøse som konklusionerne af de forkerte, er jeg derfor i samme ubehagelige situation som vittighedsfortælleren, der forkludrer historien undervejs. Pointen kan hales i land, men glansen går nemt af den.

Regnefejlen består i, at jeg i udregningen af kraftmomentet på kuglen hidrørende fra corioliskræfterne på dens massedele har regnet en faktor 2 galt, fordi jeg har identificeret

$\sum m_i \cdot x_{i1}^2$  med kuglens inertimoment i stedet for det halve inertimoment. ( $x_{i1}$  er den lodrette komponent af stedvektoren fra kuglens centrum til den i'te massedel).

Da regnefejlen, som sagt, ruller videre i de efterfølgende udregninger i den oprindelige artikel, gentages de her i modificeret form. Lejligheden er benyttet til at generalisere til vilkårlig massefordeling i kuglen som funktion af afstanden til dens midte, da det ikke komplicerer regningerne yderligere.

#### UDREGNINGER

For en kugles bevægelse på et roterende underlag gælder i forhold til et koordinatsystem med faste akser i forhold til underlaget og nulpunkt i dets omdrejningspunkt:

<sup>\*)</sup> Jeg er Jesper Gundermann tak skyldig for at have påpeget den for mig.

Tyngdepunktssætningen:

$$1) \quad M \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{F}_{GN} + M\Omega^2 \bar{r} + 2M\Omega(\bar{v} \times \bar{e})$$

Momentsætningen:

$$2) \quad kMR^2 \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{F}_{GN} \times R\bar{e} + kMR^2 \Omega(\bar{\omega} \times \bar{e})$$

Inertimomentet af kuglen er sat lig med  $k \cdot MR^2$ . Betegnelserne er ellers som i den forrige artikel.

Forudsættes gnidningen mellem underlag og kugle at være tilstrækkelig til, at der er ren rulning, gælder:

Rulningsbetingelsen:

$$3) \quad \bar{v} = \bar{\omega} \times R\bar{e}$$

og gnidningskraften kan beregnes ved at differentiere 3) og indsætte  $\frac{d\bar{v}}{dt}$  og  $\frac{d\bar{\omega}}{dt}$  fra 1) og 2). Herved fås:

$$\frac{1}{M} \bar{F}_{GN} = -\frac{k}{1+k} \Omega^2 \bar{r} - \frac{k}{1+k} \Omega(\bar{v} \times \bar{e})$$

Konklusionen i den forrige artikel, at  $\bar{F}_{GN}$  altid er rettet mod centrum hang netop på den famøse faktor 2, og er altså gal. Indsættes udtrykket for  $\bar{F}_{GN}$  i 1), fås:

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{1}{1+k} \Omega^2 \bar{r} + \frac{2+k}{1+k} \Omega(\bar{v} \times \bar{e})$$

som bevægelsesligningen, der fastlægger de mulige banekurver for kuglen på det roterende underlag. (Den tilsvarende ligning for en partikel på et glat roterende underlag fremgår ved at sætte  $k$  lig 0).

Bevægelsesligningen lader sig nemmest løse i kompleks notation.

Sættes:  $\bar{r} = z$ ,  $\bar{v} = \frac{dz}{dt}$  og  $\bar{v} \times \bar{e} = -i \frac{dz}{dt}$  fås, idet  $\delta = \frac{k}{1+k}$ :

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = (1-\gamma)\Omega^2 Z - i(2-\gamma)\Omega \frac{dZ}{dt} \text{ med den fuldstændige løsning:}$$

$$Z = Z_1 \exp(-i\Omega t) + Z_2 \exp(-i(1-\gamma)\Omega t) = \exp(-i\Omega t) [Z_1 + Z_2 \exp(i\gamma\Omega t)]$$

hvor  $Z_1$  og  $Z_2$  bestemmes af begyndelsesbetingelserne.

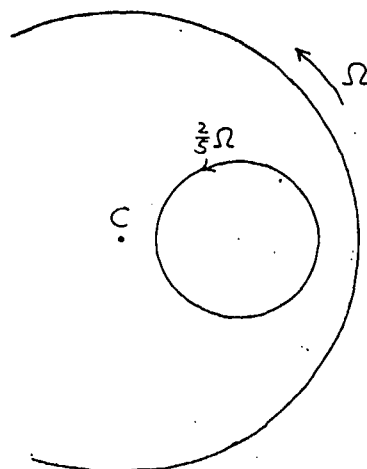
Konklusionen, at kuglen holder sig inden for et begrænset område af underlaget er altså rigtig. Kuglens afstand til centrum varierer mellem yderpunkterne  $|Z|_{\max} = |Z_1| + |Z_2|$  og  $|Z|_{\min} = ||Z_1| - |Z_2||$ .

Omformningen af den fuldstændige løsning er medtaget for at tydeliggøre bevægelsen. Set fra inertialsystemet er den beskrevet ved den kantede parentes. Der løbes rundt i en cirkel med radius  $|Z_2|$ , centrum i  $Z_1$ , og omløbstid  $2\pi/\gamma\Omega$ .

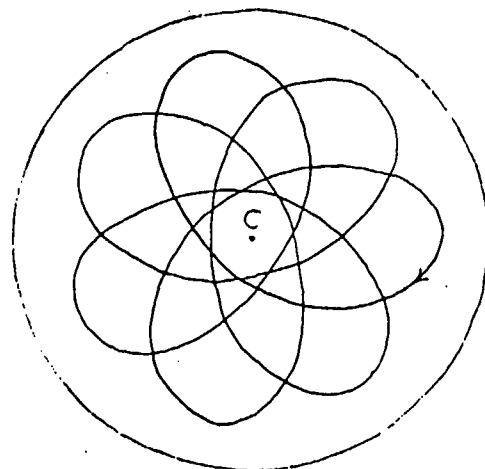
I det roterende system er der tale om en epicykelbevægelse.

Hvis  $\gamma$  er et rationelt tal, vil epicykelbevægelsen give en lukket banekurve. (Denne mulighed hænger ligesom cirkelbevægelsen i inertialsystemet på, at der ikke er nogen overset faktor i regningerne). På den nedenstående tegning er vist to sammenhørende banekurver for en bordtennisbold

( $k = 2/3$ ,  $\gamma = 2/5$ ) "fotograferet" fra loftet af et henholdsvis fast og medroterende kamera.



BANEKURVEN SET FRA  
INERTIALSYSTEMET



BANEKURVEN  
PÅ BORDET



I inertialsystemet er  $\bar{F}_{GN}$  den eneste virkende kraft. Det følger derfor af cirkelbevægelsen, at den har en konstant størrelse og er rettet mod - ikke underlagets - men cirkelens centrum. At det forholder sig sådan, kan kontrolleres ved at indsætte den fuldstændige løsning i udtrykket for  $\bar{F}_{GN}$ . Da radius og vinkelhastighed i inertialsystemets cirkelbevægelse er henholdsvis  $|z_2|$  og  $\gamma\Omega$  er  $\bar{F}_{GN} = M|z_2| \gamma^2 \Omega^2$  og betingelsen for ren rulning:  $|z_2| \gamma^2 \Omega^2 < \mu g$ .

Det er således givet ved begyndelsesbetingelserne, om rullingsbetingelsen til enhver tid vil være opfyldt.

Hvis  $z_2 = 0$  er  $\bar{F}_{GN} = 0$ . Af udtrykket for den fuldstændige løsning kan man indse, at  $z_2 = 0 \Leftrightarrow \frac{dz}{dt}\bigg|_{t=0} = -i\Omega z_{t=0}$

Der er, set fra inertialsystemet, tale om den situation, hvor kuglen står stille og ruller på stedet.

Et andet specialtilfælde er

$$z_1 = 0 \Leftrightarrow \frac{dz}{dt}\bigg|_{t=0} = -i(1-\gamma)\Omega z_{t=0}$$

Her er  $\bar{F}_{GN}$  ikke nul, og kuglen bevæger sig i en cirkel i inertialsystemet. Men den har underlagets centrum som centrum. Derfor bliver bevægelsen i det roterende system også blot en cirkelbevægelse. Men med en anden omløbstid end underlagets.

#### KOMMENTARER

1. Jeg tror ikke, fysik 1-studerende, som regnede på den rullende kugle på det roterende bord, regnede forkert. Det begynder at dæmre for mig, at der var noget med syv gange rundt om centrum for derefter at være tilbage i udgangssituationen. Og det stemmer med en homogen kugles opførsel ( $k = 2/5$  og  $\gamma = 2/7$ ).

2. Selvom det ikke har været hensigten, synes jeg, regnefejlen nærmere bekræfter end afkræfter pointen, at der næppe findes et delområde af fysikken, hvor mulighederne for oplevelser af SELV at kunne REGNE DEN UD i så høj grad er til stede som i mekanikken. For mig har brugen af matematik i mekanikken jo tydeligvis ikke kun fungeret som en sammfattende efterrationalisering af en kvalitativ forhåndsforståelse. Så ville konsekvenserne af regnefejlen være faldet i øjnene. Der er i lige så høj grad tale om det karakteristiske og forunderlige ved dele af fysikken i de sidste 300 år, at en fysisk virkelighed kun gennem og netop gennem matematikken kan beherskes mentalt. Forudsat man regner rigtigt.

RULLENDE KUGLE PÅ Roterende UNDERLAG.

SIDSTE RUNDE.

af Jens Højgaard Jensen

IMFUFA, RUC

og Wolfhard Kliem

Maskinafdelingen, DIA

I GAMMA nr. 68 var der en kort artikel om banekurven for en rullende kugle på et roterende underlag<sup>1)</sup>. Den pædagogiske hensigt med artiklen var bl.a. - i en tid, hvor der tales om paradigmeskift og opgør med den Newtonske tankeverden - at minde om den Newtonske mekaniks slagkraft, når den virker. Og dens leveringsdygtighed i oplevelser af SELV at kunne REGNE NOGET UD. Det var derfor ironisk, at artiklen var behæftet med en regnefejl, som nødvendiggjorde en korrigerende gennemregning i GAMMA nr. 70<sup>2)</sup>. I begge artikler blev regningerne gennemført i det roterende koordinatsystem. Af de rigtigt gennemførte beregninger i den anden artikel blev det udledt, at kuglen i forhold til inertialsystemet udfører en jævn cirkelbevægelse.

I denne artikel vil vi - som en sidste runde i føljetonen - vise, hvor direkte dette ikke intuitivt oplagte resultat kan udregnes, hvis man fra begyndelsen holder sig til at regne i inertialsystemet.\*

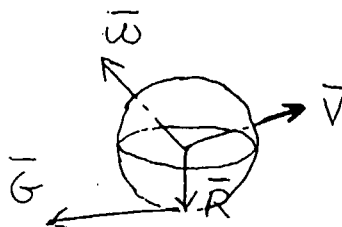
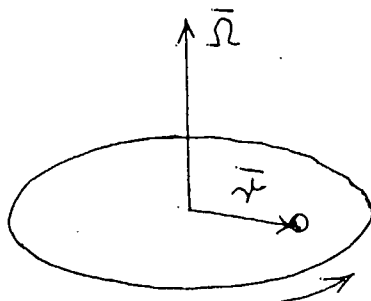
Samtidig vil vi udbygge vores lovsang til den Newtonske mekanik med endnu et regnestykke i inertialsystemet. Hvad sker der, hvis det roterende underlag hælder? Så driver centrum for den jævne cirkelbevægelse. Men vinkelret på hældningsretningen, ikke langs den! Hvem kunne gætte sig til det uden beregninger?

---

\*) Vi har fundet sammen, fordi WK påpegede dette (og regnefejlen) som reaktion på JHJ's første artikel.

# UDREGNINGER.

## Vandret underlag.



De bestemmende ligninger i inertialsystemet er:

Tyngdepunktssætningen: 1)  $M\dot{\bar{v}} = \bar{G}$

Momentsætningen: 2)  $kMR^2\dot{\bar{\omega}} = \bar{R} \times \bar{G}$

Rulningsbetingelsen: 3)  $\bar{\Omega} \times \bar{r} = \bar{v} + \bar{\omega} \times \bar{R}$

Gnidningskraften  $\bar{G}$  mellem kuglen og underlaget er eneste vandrette kraft. Og også den eneste kraft, der giver anledning til noget kraftmoment omkring kuglens centrum. Inertimomentet af kuglen er sat lig med  $kMR^2$ .

Højresiden af ligning 3) udtrykker hastigheden af kuglens kontaktpunkt med underlaget i forhold til inertialsystemet. Venstresiden af ligning 3) udtrykker hastigheden af underlagets kontaktpunkt med kuglen i forhold til inertialsystemet. Rulningsbetingelsen består således i, at de to kontaktpunkter skal have samme hastighed, d.v.s. være i hvile i forhold til hinanden.

Stillet således op behøves kun få udregninger for at nå frem til den jævne cirkelbevægelse. Ved differentiation af 3) og indsættelse af 1) og 2) fås nemlig:

$$\vec{\Omega} \times \vec{v} = \dot{\vec{v}} + \dot{\vec{\omega}} \times \vec{R} = \frac{1}{M} \vec{G} + \frac{1}{kMR^2} (\vec{R} \times \vec{G}) \times \vec{R} = \frac{1}{M} \left( \frac{1+k}{k} \right) \vec{G}$$

eller

4)

$$\vec{G} = M \cdot \frac{k}{1+k} (\vec{\Omega} \times \vec{v})$$

Og det ses, at  $\vec{G}$  - som den eneste virkende vandrette kraft - altid er vinkelret på  $\vec{v}$ , hvorfor bevægelsen har konstant fart. Da  $\vec{\Omega} \perp \vec{v}$  og på grund af den konstante fart ses endvidere, at  $\vec{G}$ 's størrelse er konstant, hvorfor bevægelsen har konstant krumningsradius. Altså jævn cirkelbevægelse.

Situationen er helt analog til bevægelsen af en ladet partikel vinkelret på et konstant magnetfelt.

Vinkelfrekvensen i den jævne cirkelbevægelse,  $\Omega_c$ , er givet ved

$$M \Omega_c v = M \frac{k}{1+k} \Omega v \quad (\text{ligning 1}), \text{ d.v.s.}$$

5)

$$\Omega_c = \frac{k}{1+k} \Omega$$

I analogi til cyklotronfrekvensen  $\frac{q}{M} \cdot B$  for den ladede partikel i et magnetfelt er  $\Omega_c$  den samme for alle de mulige jævne cirkelbevægelser svarende til forskellige begyndelsesbetingelser.

For en bordtennisbold er  $k = \frac{2}{3}$  og  $\Omega_c = \frac{2}{5} \Omega$ .

For en massiv og homogen kugle er  $k = \frac{2}{5}$  og  $\Omega_c = \frac{2}{7} \Omega$ .

Radius i cirkelbevægelsen er givet ved

$$6) \quad \rho = \frac{V}{\Omega_c} = \frac{1+k}{k} \frac{V}{\Omega}$$

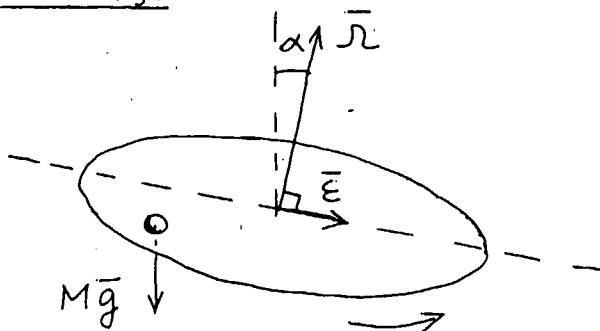
Farten  $v$  og centrum for cirkelbevægelsen er givet ved begyndelsesbetingelserne.

Hvis farten til en begyndelse tilfredsstiller

$$7) \quad \frac{k}{1+k} \Omega v < \mu g$$

hvor  $\mu$  er den statiske gnidningskoefficient, vil den nødvendige gnidningskraft (ligning 4)) til at tilfredsstille rulningsbetingelsen etablere sig. Med den jævne cirkelbevægelse og fortsat tilfredsstillelse af 7) som konsekvens. Og kuglen kan ikke rulle af underlaget, hvis det har tilstrækkelig udstrækning (jvf. ligning 6)).

Hældende underlag.



Hvis underlaget hælder, er kuglen udover gnidningskraften  $\bar{G}$  påvirket af tyngdekraftskomponenten  $Mg \sin \alpha \bar{E}$  i underlagets plan.  $\bar{E}$  angiver hældningsretningen. Derimod optræder der ikke nye kraftmomenter omkring kuglens centrum. De bestemmende ligninger er derfor som i det vandrette tilfælde, bortset fra at ligning 1) erstattes af:

$$8) \quad M \dot{\bar{V}} = \bar{G} + Mg \sin \alpha \bar{E}$$

Ved differentiation af 3) og indsættelse af 8) og 2) fås:

$$\bar{\Omega} \times \bar{V} = \dot{\bar{V}} + \dot{\bar{\omega}} \times \bar{R} = \frac{1}{M} \bar{G} + g \sin \alpha \bar{E} + \frac{1}{kMR^2} (\bar{R} \times \bar{G}) \times \bar{R}$$

eller

$$9) \quad \bar{G} = M \frac{k}{1+k} (\bar{\Omega} \times \bar{V}) - M \frac{k}{1+k} g \sin \alpha \bar{E}$$

som indsat i 8) giver:

$$10) \quad \dot{\bar{V}} = \frac{k}{1+k} (\bar{\Omega} \times \bar{V}) + \frac{1}{1+k} g \sin \alpha \bar{E}$$

Denne bevægelsesligning er analog til ligningen:

$$\dot{\bar{V}} = \frac{q}{M} (\bar{V} \times \bar{B}) + \frac{q}{M} \bar{E}$$

for en ladet partikels bevægelse i et kombineret elektrisk og magnetisk felt i den situation, hvor bevægelsen foregår i et plan vinkelret på magnetfeltet, og hvor  $\bar{E} \perp \bar{B}$ .

Bevægelsesligningen lader sig nemmest løse i kompleks notation.

Sættes:  $\bar{r} = \text{det komplekse tal } z$ ,  $\bar{v} = \dot{z}$ ,  $\dot{\bar{v}} = \ddot{z}$ ,  $\bar{\Omega} \times \bar{v} = i\Omega \dot{z}$  og  $\bar{E} = 1$  (den reelle akse lægges langs  $\bar{E}$ ) fås:

$$\ddot{z} = i \frac{k}{1+k} \Omega \dot{z} + \frac{1}{1+k} g \sin \alpha$$

Da  $\dot{z} = i \frac{g \sin \alpha}{k \Omega}$  ses at være en partikulær løsning til denne nære inhomogene differentiaalligning for  $\dot{z}$ , er den fuldstændige løsning for  $\dot{z}$ :

$$\dot{z} = i \Omega_c z_1 e^{i \Omega_c t} + i \frac{g \sin \alpha}{k \Omega}$$

hvoraf den fuldstændige løsning for  $z$  ved integration fås til:

$$11) \quad z = z_1 e^{i \Omega_c t} + z_2 + i \frac{g \sin \alpha}{k \Omega} t$$

hvor  $Z_1$  og  $Z_2$  er konstanter bestemt af begyndelsesbetingelserne.

For  $\alpha = 0$  ses løsningerne at være jævne cirkelbevægelser med vinkelfrekvens  $\Omega$ , som vi allerede ved, Centrum er i  $Z_2$  og radius er  $|Z_1|$ .

For  $\alpha \neq 0$  medfører hældningen af underlaget en sengebundsspiral-lignende bevægelse à la



idet centrum for cirkelbevægelserne ses at drive med den konstante drifthastighed

12)

$$V_D = \frac{g \sin \alpha}{k \Omega}$$

i den imaginære akse's retning, altså på tværs af underlagets hældningsretning. Den analoge drifthastighed for den ladede partikel i det kombinerede elektriske og magnetiske felt er  $\frac{E}{B}$ .

Sengebundsspiralbevægelsen virker vel intuitivt rimelig. Derimod er det overraskende, at centrum driver på tværs af underlagets hældningsretning. For at kunne forudsige dette intuitivt må man nok have en del erfaring med krydsproduktregning eller gyrobevægelse.

#### KOMMENTARER:

1. Efter at vi efterhånden følte os sikre på rigtigheden af udregningen af den jævne cirkelbevægelse som bevægelsesmåde i inertialsystemet for den rullende kugle på det roterende underlag, har vi undersøgt sagen eksperimentelt. Og fundet, at virkeligheden opfører sig, som den skal. Med nogen behændighed kan cirkelbevægelserne f.eks. demonstreres ret overbevisende med en bordtennisbold på en LP-plade, der roterer med 75 omdrejninger i minuttet. Prøv selv!



Regnefejlen i den første artikel kunne altså være blevet afsløret eksperimentelt. Men hvem kunne uden rigtige beregninger vide, at der var noget simpelt at lede efter?

2. Med hjælp fra GAMMA-redaktøren Svend Erik Rugh er vi blevet opmærksom på, at vores udregninger ikke blot er genopdagelser, men genopdagelser af genopdagelser (mindst). Vores emne er for forholdsvis nylig blevet behandlet i en række artikler i American Journal of Physics<sup>3)</sup>, <sup>4)</sup>, <sup>5)</sup>, <sup>6)</sup>. Den første af artiklerne, der er fra 1979, består af regninger, der i hovedsagen svarer til vores. Og i den tredje af artiklerne gøres der tørt opmærksom på, at udregninger af cirkelbevægelsen i lærebogslitteraturen mindst kan spores tilbage til 1844<sup>7)</sup>, udregninger af den tværgående drifthastighed mindst tilbage til 1868<sup>8)</sup>.

I øvrigt fremgår det af artikelrækken, at der rundt omkring arbejdes med omhyggeligt konstruerede drejeborde til undervisningsformål, som tillader ret præcise undersøgelser af opførselen af rullende kugler på dem. Det foreslås således at benytte dem med rullende kugler på i undervisningsøjemed til illustration af ladede partiklers bevægelser i elektriske og magnetiske felter<sup>4)</sup>.

3. Bortset fra interesser i at sammenholde de besværlige udregninger i det accelererede koordinatsystem med de ækvivalente og simple i inertialsystemet, overflødiggør denne sidste runde i føljetonen de foregående. Apropos besværlige udregninger kan det i øvrigt for de, der måtte tro, at Lagrange's ligninger er den eleganteste indgang til ethvert mekanikproblem, anbefales at forsøge sig med dem for den rullende kugle på det roterende underlag.

4. At den rullende kugle på det roterende underlag allerede findes behandlet i forrige århundredes lærebogslitteratur, burde nok ikke overraske. Det Newtonske paradigme stod jo stærkt dengang og førte bl.a. til en ret udstrakt og akademisk dyrkelse af rationel mekanik.

At opdagelserne gentages er måske heller ikke så overraskende. Paradigmer fører jo, ifølge selve deres natur, til fokusering på bestemte typer af problemer.

Det Newtonske såvel som ethvert andet virksomt paradigme kan med rette politisk, kulturelt/ideologisk og internt fagligt kritiseres for dets indsnævrende fokuseringer. Og en sådan kritik føres jo frem i disse år. Det er imidlertid at smide barnet ud med badevandet, når visse strømninger mener at kunne gøre op med det Newtonske paradigme på et abstrakt og rent filosofisk plan. Fordi der heri næsten uvægerligt ligger en forestilling gemt om, at paradigmer kan vælges frit, d.v.s. en antividenskabelig irrationalisme. Og fordi rationel indsigt i nødvendigheder er én blandt flere nødvendige betingelser for kritisk stillingtagen. Hvorfor irrationalismedyrkelse tværimod at sprænge paradigmespændetrøjer, oftest politisk og historisk har ført til kulturelle indsnævringer.

Den Newtonske mekanik ville være et forsvar værd som en særlig klar demonstration af muligheden af rationel tænkning, om den så ikke kunne levere andet end gennemregningen af det fjollede rulleproblem.

#### REFERENCER:

- 1) J.H.Jensen, GAMMA 68 (1987)
- 2) J.H.Jensen, GAMMA 70 (1987)
- 3) K.Weltner, Am. J. Phys. 47, 984 (1979)
- 4) J.A.Burns, Am. J. Phys. 49, 56 (1981)
- 5) R.H.Romer, Am. J. Phys. 49, 985 (1981)
- 6) K.Weltner, Am. J. Phys. 55, 937 (1987)
- 7) J.Earnshaw, Dynamics, 3rd.ed (Deighton, Cambridge, 1844), pp. 280 - 283.
- 8) E.J.Routh, jvf. ref. i 5).

Den følgende artikel har været trykt i LMFK-bladet nr. 3, marts 1990. LMFK-bladet er et meddelelsesblad for de danske gymnasielærere i matematik, fysik og kemi.

Kuhn mellem Skylla og Charybdis.

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, RUC.

Har relativitetsteorien gjort Newtons mekanik til løgn?

Det spørgsmål stiller jeg de studerende på et kombineret videnskabsteori- og fysikkursus, jeg med mellemrum har afholdt på den naturvidenskabelige basisuddannelse på RUC. Spørgsmålet bliver stillet i sammenhæng med en fysikopgave. Og jeg giver også mit bud på et svar i sammenhæng med løsningen af opgaven.

Som et bidrag til debatten i LMFK-bladet mellem Tommy Bergstein (nr. 8 s.9, 1989 og nr. 1 s.13, 1990), Claus Jessen (nr. 10 s.11, 1989) og Poul V. Thomsen (nr. 10 s.13, 1989) om Kuhnske lus i skindpelsene vil jeg:

A. Gennemgå opgaven og de kommentarer vedrørende Kuhn, jeg plejer at give i sammenhæng med gennemgangen.

B. Forklare hvilke pædagogisk/ideologisk/politiske (vælg selv) grunde jeg har til at gøre det, jeg gør.

A. Har relativitetsteorien gjort Newtons mekanik til løgn?

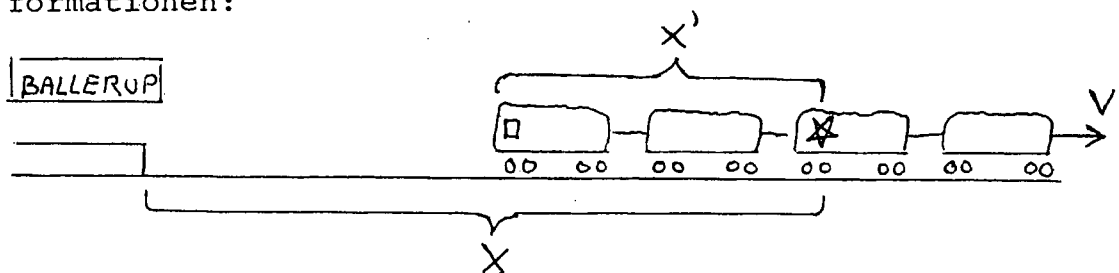
FYSIKOPGAVE:

Da S-toget's bagende er ud for enden af perronnen på Ballerup station, nulstilles både perronuret og elektroførerens ur. Senere sker der en forbrydelse i toget. Klassisk kan

der da formuleres tre principielt forskellige kriminalgæder, idet toget kører med en kendt konstant fart:

- 1) Larsens kolonihave ligger op til banelegemet. Han så forbrydelsen gennem togvinduet, da vinduet var lige ud for ham, og han noterede tidspunktet. Hvor i toget fandt forbrydelsen sted?
- 2) Larsen glemte at notere tidspunktet ned. Til gengæld var Kirsten til stede i toget som vidne. Men heller ikke hun noterede tidspunktet ned. Hvornår fandt forbrydelsen sted?
- 3) Kirsten er det eneste vidne. Men hun noterede tidspunktet. Hvor på banestrækningen skete forbrydelsen?

Svaret på de tre kriminalgæder følger af Gallileitransformationen:



$$x' = x - vt$$

Den forbinder de tre variable  $x$ ,  $x'$  og  $t$ . Der findes tre måder, to af dem kan være kendte på. Og den tredje findes så af ligningen.

I relativitetsteorien erstattes Gallileitransformationen af Lorenztransformationen:

$$\begin{aligned} x' &= (x - vt) \cdot \gamma(v) \\ t' &= \left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \cdot \gamma(v) \end{aligned} \quad , \text{ hvor } \gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Den forbinder de fire variable  $x$ ,  $x'$ ,  $t$  og  $t'$ . Kendes to af de variable, kan de øvrige to findes ved hjælp af de to ligninger. Det giver mulighed for seks principielt forskellige kriminalgæder, da der er seks måder to ud af de fire variable kan udvælges på som kendte.

Eksempel: Larsen, hvis kolonihave ligger i afstanden  $x$  fra Ballerup station, så forbrydelsen men ikke på sit ur. Kirsten noterede tidspunktet,  $t'$ , på sit ur, men er siden usikker på hvor i toget, hun så forbrydelsen ske. Hvor i toget skete forbrydelsen? ( $x' = ?$ ) Hvad var klokken på Larsens ur? ( $t = ?$ )

Af Lorenztransformationen findes:

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x}{\gamma(v)} - vt' \\ t &= \frac{t'}{\gamma(v)} + \frac{v}{c^2} \cdot x \end{aligned}$$

som svar.

Formuler de øvrige fem kriminalgæder. Løs dem og sammenlign de seks løsninger med løsningerne på de tre klassiske gæder.

LØSNINGER;

Relativistisk		Klassisk	
Kendte variable	De ubekendte variable udtrykt ved de kendte	Kendte variable	Den ubek. var. udtr. ved de kendte.
1. $x, t$	$x' = x \cdot \gamma(v) - v \cdot t \cdot \gamma(v)$ $t' = t \cdot \gamma(v) - \frac{v}{c^2} \cdot x \cdot \gamma(v)$	$x, t$	$x' = x - vt$
2. $x, t'$	$x' = \frac{x}{\gamma(v)} - v \cdot t'$ $t = \frac{t'}{\gamma(v)} + \frac{v}{c^2} \cdot x$		
3. $x', t'$	$x = x' \cdot \gamma(v) + v \cdot t' \cdot \gamma(v)$ $t = t' \cdot \gamma(v) + \frac{v}{c^2} x' \cdot \gamma(v)$	$x', t$	$x = x' + vt$
4. $x', t$	$x = \frac{x'}{\gamma(v)} + vt$ $t' = \frac{t}{\gamma(v)} - \frac{v}{c^2} \cdot x'$		
5. $x, x'$	$t = \frac{1}{v} (x - \frac{x'}{\gamma(v)})$ $t' = \frac{1}{v} (\frac{x}{\gamma(v)} - x')$	$x, x'$	$t = \frac{x - x'}{v}$
6. $t, t'$	$x = \frac{c^2}{v} (t - \frac{t'}{\gamma(v)})$ $x' = \frac{c^2}{v} (\frac{t}{\gamma(v)} - t')$		?

#### KOMMENTARER:

Det ses, at den klassiske gåde, hvor  $x$  og  $t$  er de kendte variable har to tilsvarende relativistiske med forskellige løsninger. I grænsen, hvor  $\frac{v}{c} \rightarrow 0$  (og  $\gamma(v) \rightarrow 1$ ) er de begge i overensstemmelse med den klassiske løsning.

Tilsvarende gælder for den klassiske gåde, hvor  $x'$  og  $t$  er de kendte variable.

For den klassiske gåde, hvor  $x$  og  $x'$  er de kendte variable findes der kun ét modsvarende relativistisk problem. Løsningen stemmer overens med den klassiske i grænsen. De fem første relativistiske problemer og deres løsninger rummer således de klassiske problemer og deres løsninger som grænsetilfælde.

Derimod er der ikke noget modsvarende klassisk problem til det sjette relativistiske. Gåden: "Larsen registrerede, at forbrydelsen skete kl. 0<sup>42</sup>, medens Kirstens ur viste 0<sup>37</sup>: Hvor skete forbrydelsen i toget, og hvor ligger Larsens kolonihave?" kan ikke formuleres klassisk. Den er klassisk set absurd.

Hvad lærer vi heraf? Har relativitetsteorien gjort Newtons klassiske mekanik til løgn?

Det afhænger af, hvad vi mener med begrebsparret løgn/sandhed.

Hvis vi med sandhed mener overalt gældende og evigt gyldige udsagn, ontologisk sandhed, har relativitetsteorien gjort den klassiske mekanik til løgn. Det viser sig bl.a. ved, at der inden for relativitetsteoriens rammer kan svares på spørgsmål, som slet ikke kan stilles i den klassiske mekanik.





Tilsvarende gør den Newtonske mekanik relativitetsteorien til løgn. F.eks. kan man inden for rammerne af den klassiske mekanik stille opgaven:

"Fra Ballerup station udsendes et radiosignal med hastigheden  $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$  til S-toget. I S-toget registreres signalets hastighed ved modtagelse af være  $299\,920 \frac{\text{km}}{\text{sek}}$ . Hvor hurtigt kører S-toget?" Og denne opgave er absurd set med relativitetsteoriens øjne.

Det er Kuhn's pointe i bogen "The Structure of Scientific Revolutions" fra 1962, at videnskaben ikke kan siges gradvist at udvikle sig mod mere og mere sikker ontologisk erkendelse af verdens indretning. Tværtimod viser hans videnskabshistoriske og videnskabssociologiske undersøgelser ham, at videnskaben udvikler sig i spring, hvor de videnskabelige samfund erstatter de gamle grundlæggende tankegange med nye, der ikke blot er udbygninger af de gamle, men så væsentligt forskellige fra dem, at kommunikationen mellem det gamle og det nye er vanskelig. Man taler om forskellige ting, fordi man ser verden forskelligt. Er ikke i stand til at stille de samme spørgsmål. Måske har det heller ikke mening at regne relativitetsteorien for bedre end den klassiske mekanik? For hvad skulle målestokken for en sådan sammenligning være? Relativitetsteoriens ontologi eller den klassiske mekaniks ontologi?

Men er relativitetsteorien ikke bedre end den klassiske mekanik? I praksis har det jo vist sig, at det er lyshastigheden, der er absolut, og tiden, der er relativ, og ikke tiden absolut og lyshastigheden relativ. Og i vores fysikopgave så vi, at kriminalgådeløsningerne i den klassiske mekanik kunne findes som grænsetilfælde af relativistiske kriminalgådeløsninger. Hvilket er et eksempel på det såkaldte korrespondensprincip: relativitetsteorien ville ikke have kunnet udkonkurrere den klas-

siske mekanik, hvis den ikke udover at forklare fænomener, den klassiske mekanik ikke kunne hamle op med, også kunne forklare den praktiske succes af den klassiske mekanik. Som redskab til f.eks. teknologiske formål er relativitetsteorien mere omfattende end den klassiske mekanik og rummer denne som en delmængde.

Hvis vi med sandhed mener begreber og tankegange der inden for et vist gyldighedsområde har vist sig at virke i praksis, pragmatisk sandhed, har relativitetsteorien derfor ikke gjort Newtons mekanik til løgn, men tværtimod bestyrket den ved at indlejre den i et mere omfattende erfaringsunivers.

Reaktionerne på Kuhn's bog fra 1962 var meget omfattende. Først og fremmest blev han beskyldt for relativisme ved ikke at anerkende det videnskabelige fremskridt og lægge op til at videnskabelig overbevisning var et spørgsmål om smag og behag. I et efterskrift fra 1969 til senere udgaver af bogen forsvarer han sig mod anklagerne ved at uddybe nogle af sine synspunkter. Bl.a. skriver han:

"Jeg er f.eks. ikke i tvivl om, at Newtons mekanik er en forbedring i forhold til Aristoteles', og at Einsteins er en forbedring i forhold til Newtons, når man betragter dem som redskaber til at løse gåder med. Men i denne række af teorier kan jeg ikke se nogen entydig ontologisk udvikling."

På spørgsmålet om relativitetsteorien har gjort Newtons mekanik til løgn svarer Kuhn således: Det afhænger af, om vi taler om ontologisk eller pragmatisk sandhed.

B. Kuhnske lus i skindpelsene.

Hvorfor siger jeg det, jeg gør, i den undervisningssekvens, jeg har refereret ovenfor? Fordi det er rigtigt? Jo, jeg håber, det er nogenlunde rigtigt. Men det er nok nærmere, fordi jeg finder det vigtigt.

Det er vigtigt at introducere det Kuhn'ske syn på de eksakte naturvidenskaber som modgift til den positivistiske værdifrihedsideologi, som stadigvæk er den dominerende selvforståelse inden for de naturvidenskabelige miljøer. Fordi jeg finder ideologien forkert og naiv. Og fordi den i sin yderste konsekvens politisk set fører til teknokrati og ekspertvælde.

Men det er også vigtigt at levere modgift mod relativistiske og subjektivistiske udlægninger af Kuhn, som de kan forekomme med udspring i humanistiske og samfundsvidenskabelige miljøer. Sådan som det f.eks. implicit er tilfældet med tidens løse snak om et nyt naturvidenskabeligt paradigme. Fordi et syn på videnskab som f.eks. rent interessebestemt eller et spørgsmål om smag eller behag er i modstrid med såvel den uddannede fysiker Kuhn's som det øvrige naturvidenskabelige miljø's erfaringer. Og fordi et synspunkt, der gør sandhed til en handelsvare, peger frem mod et samfund, hvor magt gøres til ret.

For at hjælpe de studerende med at kunne balancere mellem blind tiltro og blind skepsis til videnskab er det både nødvendigt at give dem abstrakte begreber at filosofere med og nødvendigt at give dem konkrete og forpligtende eksempler (helst mange forskellige) at tænke over. Derfor gør jeg det, jeg gør, i den refererede undervisningssekvens.

PAS PÅ DE  
FALSK  
BROBYGGERE!

BROEN OVER  
KULTUR KLØFTEN

JHU/90



Den følgende artikel svarer til et foredrag holdt ved konferencen:  
"The First Year Experience in Higher Education", 23. - 25. april  
1990 på Ålborg Universitetscenter. Artiklen vil blive trykt i  
konferencerapporten.

Session: Educational Practice/Models

### Why Interdisciplinarity?

Presenter: Jens Højgaard Jensen, Vice-rector,  
Roskilde University Centre, Denmark

#### Abstract:

Beginning in the 60's there has been a call - fluctuating in strength, but still permanent - for interdisciplinarity in higher education. It is important to realize that this call is due to increasing specialisation in research and higher education since the Second World-war, and to the loss of general orientation connected to this development. However in the generation of interdisciplinary educational programs this simple observation is often forgotten because of the quite different conceptions that may be associated with the word interdisciplinarity.

#### Why ask "why interdisciplinarity?" ?

When Roskilde University Centre (RUC) was founded in 1972, the developing of study programs for university freshmen, which could both introduce the students to university studies in a careful way as well as lower the costs for both students and society in case of change of academic interests, was emphasized very much. Since then the major means have been common, interdisciplinary, problem oriented, project organized study programs in humanities, social sciences and natural sciences respectively. Like here at Aalborg University Centre (AUC). Unlike AUC, the introductory study programs at RUC have a duration of two years.

However interdisciplinarity at RUC is not only chosen as a means to organize the students' entry to the university. It is also seen as a purpose for their university education as a whole.

In the three years following the first two years of the introductory study program, for instance, the students most often study two parallel and equal subjects in combination for the master's degrees from RUC. And they are allowed to choose between all the possible combinations of subjects from both humanities, social sciences and natural sciences.

Since interdisciplinarity is thus a key-word at RUC, we need to know precisely the meaning of the word. Why do we use it?

That is why I ask "why interdisciplinarity?".

I fear, for instance, the slogan, which Palle Rasmussen of AUC phrased yesterday in his lecture, and which is also widespread at RUC: "Interdisciplinarity through problem orientation". Taken as an over all ideology, this slogan may lead to quite dubious developments. I shall come back to this point later.

#### What is interdisciplinarity?

In essence, I see the word interdisciplinarity used in three



different meanings:

1) INTERDISCIPLINARITY = INTEGRATION OF DISCIPLINES IN THE BORDERLAND BETWEEN TWO DISCIPLINES.

For instance: Mathematical economy between mathematics and economy; biochemistry between biology and chemistry; geophysics between geology and physics.

That is: INTERDISCIPLINARITY = SPECIALISATION

Interdisciplinarity is called for in order to support the establishment of new specialized disciplines with foci between existing and well established disciplines.

2) INTERDISCIPLINARITY = INTEGRATION OF DISCIPLINES IN ORDER TO SUPPORT PRACTICAL FUNCTIONS AND PROBLEM SOLVING IN SOCIETY.

For instance: Business studies integrating economy, sociology, law etc.; medicin integrating chemistry, physiology, psychology etc.; civil engineering integrating mathematics, physics, geology etc.

That is: INTERDISCIPLINARITY = INTEGRATION OF ELEMENTS OF BASIC DISCIPLINES INTO AN APPLIED DISCIPLINE.

Interdisciplinarity is called for in order to enhance the usefulness of basic disciplines in processes of demanded practical problem solving.

3) INTERDISCIPLINARITY = REVOLT AGAINST LOSS OF GENERAL ORIENTATION DUE TO SPECIALISATION.

The revolt against exaggerated specialisation occurs regardless of whether the disciplines are applied or fundamental.

Why interdisciplinarity?

In my interpretation the call for interdisciplinarity in higher education since the 60's is due to the increasing specialisation in research and higher education since the Second World-war and to the loss of general orientation connected to this development. That is: The call for interdisciplinarity is connected to meaning 3) of the word.

My father, who used to be a professor of physics at University of Copenhagen, some years ago was the chairman of a committee, that was asked to give suggestions on how the need for Danish expertise in oil exploration could be answered by improving the study programs at University of Copenhagen. Since oil exploration involves both knowledge of the underground and knowledge of the methods of investigating the underground, the committee consisted of both geologist and physicist. And both the geologists and the physicists were convinced of the necessity of the expertise of

their counterparts. But in my free reproduction of what my father told me, it turned out, in the end, that the geologists recognized physics as a recipe for certain instrumental operations, whereas geology was a qualification which enables a qualified person to observe things, that could not be seen by an unqualified. And vice versa with the physicists. Accordingly, the geologists found that an almost full education in geology supplemented with a short course in familiarisation with manuals in seismic interpretation would form the correct basic education of oil exploration experts.

Whereas, the physicists found that an almost full education in physics supplemented with a short course to get acquainted with the order of the layers in the underground would form the correct basic education of oil exploration experts. My father's impression was that this situation was not particular to the University of Copenhagen. The oil industry was suffering from it worldwide.

To me, this anecdote is an example of the costs of the increased specialization which leads to a call for interdisciplinarity. Not interdisciplinarity in meaning 2) of the word specified to oil exploration problems. But interdisciplinarity in meaning 3) of the word. It is not the education in a strictly applied science directed towards oil exploration that is missing at the universities (it is given in the companies). It is the education of students and their professors to think as a geologist and a physicist at the same time which is demanded; and which is hindered by the specialized organisation of the universities.

Also, when the call for interdisciplinarity is related to cultural needs in society, it is connected to meaning 3) of the word. The reaction to the divorce between science and the humanities in this century can, for instance, take the form of semi-religious, holistic, and hence interdisciplinary constructions in meaning 2) of the word interdisciplinarity. But being able to keep their heads cold and their hearts warm at the same time, most people from C.P.Snow till ourselves meet the "two culture" problem, not with a call for holistic constructions but with a call for disciplinary cosmopolitanism and a combat against disciplinary provincialism, i.e. a call for interdisciplinarity in meaning 3) of the word.

Whether the call for interdisciplinarity in higher education is due to technical or to cultural needs in society, it is not the needs for neither borderland disciplines nor applied disciplines that have caused it in the first place. The concepts of interdisciplinarity in connection with borderland disciplines and applied disciplines have long historical roots. And they are needed today as well. But the call is betrayed when referred alone to meanings 1) and 2) of the word interdisciplinarity- and to "interdisciplinarity through problemorientation", which is connected to meaning 2).

It is actions complementary to the increasing specialization that are demanded.

#### How interdisciplinarity?

Reasonable answers to the question "How interdisciplinarity?"

depend heavily upon which notion of interdisciplinarity is in mind. That is: "How interdisciplinarity?" depends on "Why interdisciplinarity?" In the process of finding out how, it is important to be aware of the ambiguity of the word interdisciplinarity and to ask why.

How can interdisciplinarity be developed in higher education in order to regain general orientation as a complement to specialization?

Many strategies and initiatives may be of relevance. But the developing of borderland disciplines or applied disciplines is not among them. How then? This, of course, depends on the circumstances.

How is interdisciplinarity realized in the two-year introductory study programs at RUC?

First of all, like at AUC, interdisciplinarity is realized through problem orientation of the study programs. That is: Interdisciplinarity is first of all realized in meaning 2) of the word. Interdisciplinarity is also realized in meaning 3) of the word simply through the amount of disciplines involved in the three introductory study programs, covering the whole of the humanities, the social sciences and the natural sciences, respectively. But the independent purpose of interdisciplinarity in meaning 3) of the word tends to be drowned by the slogan "interdisciplinarity through problem orientation".

Yesterday, Palle Rasmussen of AUC in his lecture about the first year study programs at AUC summarized the achievements made in three points: 1) Creation of an independent learning environment. 2) Institutionalization of students' own collective formulation of tasks and reports. 3) Creation of social networks for all 1. year students. Since I think this is a good characterization of achievements also in the introductory study programs at RUC; and since these, in my opinion essential, achievements are realized through the problem orientation and the project organization of the studies, "interdisciplinarity through problem orientation" (and problem orientation) should, therefore, be defended. But in order to achieve interdisciplinary education in meaning 3) of the word in the introductory study programs in addition to the achievements already realized, it is necessary that the students and their professors at RUC make educational choices with the ambition that interdisciplinarity should be developed as a purpose in its own right, independent of and complementary to the purposes connected to the problem orientation of the education.

How is interdisciplinarity realized at RUC in the years following the two introductory years, when two parallel and equal subjects are studied in combination?

In the combinational educational structure at RUC interdisciplinarity can be realized in all the three meanings of the word. May I illustrate with some help from my own subject, physics:

- 1) Physics and history can be studied in combination with focus



on the history of physics. This is interdisciplinarity in the meaning of a borderland discipline.

- 2) Physics and social science can be studied in combination with focus on energy planning. This is interdisciplinarity in the meaning of an applied discipline.
- 3) Physics and history can be studied in combination with focus on the problem of understanding the changing interrelations between science, technology and society. This is interdisciplinarity in the meaning of regaining general orientation, if that problem is taken seriously as a problem of understanding, since understanding physics like a physicist does and history like a historian is needed to deal with the problem in depth. And also because, on the other hand, the problem puts both disciplines in perspective.

Thus, also within the combination structure at RUC awareness of the ambiguity of the word interdisciplinarity is needed in order to not betray the call for interdisciplinarity in higher education.

Since problem orientation for good reasons is a key-word at RUC (and AUC) it is important here to emphasize that the interdisciplinarity called for results from a dialectical interplay between disciplin orientation and problem orientation, rather than from problem orientation itself.